

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA AMBIENTAL**

**TEMA:
ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SU AFECTACIÓN A LA AGRICULTURA,
CASO DE ESTUDIO CANTÓN AMBATO**

**AUTORA:
JESSICA MICHELLE GUAMÁN POZO**

**DOCENTE TUTOR:
MARÍA SHEILA FABIOLA SERRANO VINCENTI**

Quito, septiembre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Jessica Michelle Guamán Pozo con documento de identificación N° 172449537-7, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SU AFECTACIÓN A LA AGRICULTURA, CASO DE ESTUDIO CANTÓN AMBATO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA AMBIENTAL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Jessica Michelle Guamán Pozo

C.I.:1724495377-0

Septiembre, 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SU AFECTACIÓN A LA AGRICULTURA, CASO DE ESTUDIO CANTÓN AMBATO** realizado por Jessica Michelle Guamán Pozo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2020



María Sheila Fabiola Serrano Vincenti

C.I.:171026757-4

DEDICATORIA

A Dios, ya que sin el ningún esfuerzo sería suficiente.

A mi familia: Mis padres, hermanos, Abuelitos, Tíos y Primos por darme su apoyo incondicional, su cariño, y consejos para alcanzar mi meta más anhelada, ustedes han sido mi mayor inspiración y soporte para cada una de las aventuras que me han permitido desarrollarme tanto a nivel personal como profesional. En verdad los quiero muchísimo.

A mis amigos y amigas con los que empezamos la universidad y a los que los fui conociendo a medida que avanzamos la carrera por aportar de manera positiva; especialmente a Juan Francisco Morales y Ronald Correa, quienes me acompañaron en mis primeras aventuras lejos de casa. Gracias por su amistad sincera.

A mis viejos amigos Felix, Nathy, Chess y Vanne por cada una de sus palabras de apoyo en cada situación que la vida me ha presentado, contar con su amistad ha sido un honor.

A la pastoral universitaria, a Panchito, Pablito, Silvi, Vale, y todos los chicos con los que tuve la oportunidad de compartir misiones durante mi vida universitaria, especialmente las de Manabí que me enseñaron a valorar las cosas que realmente son importante en la vida. Me enseñaron a creer en profundidad carismática, crecimiento en fe e identidad salesiana.

A mis compañeros de oficina, que terminaron convirtiéndose en grandes amigos, especialmente el Profe Holger, profe Rodri, Profe Cris por sus largas pláticas y sabios consejos, que me han animado a entregar lo mejor de mí cada día, a luchar por mis sueños y a volar alto. Son un ejemplo para no caer en las diferentes situaciones de la vida.

A las autoridades universitarias especialmente al Sr. José Juncosa PhD. por creer y apoyar a los jóvenes y siempre motivarnos a ser mejores profesionales, junto con nuestra directora de Carrera Dra. Karina Pazmiño, quienes con confianza y paciencia supieron guiarme por el camino del bien.

A la profe Sheilita, por demostrarme que las claves para ser un excelente científico es la humildad, dedicación y esfuerzo, gracias por ser un ejemplo durante toda mi vida universitaria. En vejez quedo eternamente agradecida por todo el apoyo, motivación y exigencia. Aparte de ser mi profesora, mi tutora, mi jefa, mi amiga; es mi más grande maestra de vida.

En realidad, son muchas personas que han formado parte de mi vida y del desarrollo de la misma a quienes deseo dedicar mi trabajo; además de agradecer por siempre estar conmigo apoyándome cuando lo necesito.

A todos y todas que siempre tuvieron fe en mí. Muchas gracias

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por darme la vida y la fuerza para culminar mi carrera universitaria.

A mi familia: mis padres, hermanos y abuelitos por ayudarme y apoyarme durante toda mi carrera universitaria, gracias por todos los sacrificios que han hecho para sacarnos adelante a mis hermanos y a mí, especialmente a mi madre y mi abuelita por ser mis ángeles, son un ejemplo de sacrificio para que sus hijos sean profesionales. Prometo estar siempre que lo necesiten.

A la MSc. Sheila Serrano, quien ha sido de vital importancia en el desarrollo de esta investigación, gracias por ayudarme con todo su conocimiento, experiencia y sobre todo por la paciencia.

Al PhD. Christian Franco docente de la Universidad Técnica de Ambato que colaboró para que la presente investigación se lleve a cabo.

Al MSc. Rodrigo Tufiño por su conocimiento, apoyo y soporte en la investigación.

A todos mis maestros que me han dado una excelente formación académica para culminar mi carrera universitaria.

A la Universidad Politecnica Salesiana que me dio la oportunidad de ingresar a sus aulas.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	2
1.1	Objetivo General.	2
1.2	Objetivo Específicos.	2
3.	MARCO TEÓRICO.....	3
3.1	Cambio Climático	3
3.2	Factores que causan el Cambio Climático	3
3.3	Impactos del Cambio Climático en la agricultura	8
3.4	Ecuador, Agricultura y Cambio Climático.....	14
3.5	Índices utilizados para evaluar Cambio Climático.....	15
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
4.1	Área de Estudio	18
4.2	Datos utilizados	20
4.3	Métodos	22
4.3.1	<i>Pre- procesamiento de datos</i>	22
4.3.2	<i>Conversión de formatos de los datos meteorológicos</i>	22
4.3.3	<i>Formato del INAMHI</i>	23
4.3.4	<i>Formato de RClimDEX</i>	24
4.3.5	<i>Script de Pyhton</i>	25

4.4	Control de Calidad Climatológico de datos	28
4.5	Calculo de índices de Cambio climático en Climdex de Rstudio.	29
4.5.1	<i>Paquete computacional RCLIMDEX</i>	29
4.6	Índices de cambio climático recomendados por la ECTCCDI	30
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1	Análisis estadístico de las variables meteorológicas.....	34
5.2	Análisis de los índices de Cambio Climático.....	35
5.3	Índices de Temperatura máxima	37
5.4	Índices de Temperaturas Mínimas	45
5.5	Índices de precipitación.....	60
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
6.1	Conclusiones	76
6.2	Recomendaciones.....	78
7.	BIBLIOGRAFÍA	79
8.	ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución del rendimiento por cultivos provocados por el cambio climático.....	13
Tabla 2. Índices de cambio climático basados en la temperatura, recomendados por la ECTCCDI, utilizados en este estudio	16
Tabla 3. Índices de cambio climático relacionados con las anomalías de la precipitación recomendados por la ECTCCDI	17
Tabla 4. Características generales de todas las estaciones meteorológicas de la zona de estudio.	20
Tabla 5. Características generales de las 4 estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio.	21
Tabla 6. Representación del formato de datos del INAMHI para información de precipitación de la estación M008	23
Tabla 7. Representación del formato de datos para RClimDEX para precipitación, temperatura máxima y mínima.	24
Tabla 8. Índices de cambio climático basados en la temperatura, recomendados por la ECTCCDI, utilizados en este estudio	31
Tabla 9. Índices de cambio climático relacionados con las anomalías de la precipitación recomendados por la ECTCCDI, utilizados en este estudio.	33
Tabla 10. Cálculos estadísticos de las estaciones que se va a estudiar.	34
Tabla 11. Índices de cambio climáticos recomendados por la ETCCI basados en la temperatura para las 4 estaciones.....	58
Tabla 12 Índices de cambio climáticos recomendados por la ETCCI basados en la precipitación para las 4 estaciones.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aumento de la probabilidad de ocurrencia de extremos en un clima más cálido en la temperatura	5
Figura 2. Aumento de la probabilidad de ocurrencia de extremos en un clima más cálido en la precipitación.....	5
Figura 3. Cambios en la temperatura máxima promedio °C, para el año 2050	7
Figura 4. Cambios en la precipitación (mm), para el año 2050.....	8
Figura 5. Posibles impactos del cambio climático en la agricultura.....	10
Figura 6. Representación esquemática de las interacciones planta-suelo bajo condiciones climáticas cambiantes.	11
Figura 7. Ubicación de la zona de estudio de la provincia de Tungurahua y el Puyo con las respectivas estaciones meteorológicas.....	19
Figura 8. Representación simplificada de las entradas y salida del algoritmo de conversión de formatos.	25
Figura 9. Manual de usuario de sobre el manejo del software “RClimDex”.....	30
Figura 11 Gráfica del índice de días muy húmedos (R95p) generada por RCLimDex	36
Figura 11. Resultado del índice TXx de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	37
Figura 12. Resultado del índice TXn las 4 estaciones (a, b, c, y d).....	39
Figura 13. Resultado del índice TX90p de las estaciones (a, b, y c)	41
Figura 14 Resultado del índice TX10p de las 3 estaciones (a, b, y c)	42
Figura 15. Resultado del índice SU25 de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	44
Figura 16. Resultado del índice máximo de temperatura mínima diaria (TNx) (a, b, c, y d).....	45
Figura 17. Resultado del índice TNN de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	47

Figura 18. Resultado del índice TR20 de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	48
Figura 19. Resultado del índice TN90p de las 3 estaciones (a, b, y c)	49
Figura 20. Resultado del índice TN10p de las 3 estaciones (a, b, y c)	50
Figura 21. Resultado del índice DTR de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	52
Figura 22. Resultado del índice CWD de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	53
Figura 23. Resultado del índice CDD de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	54
Figura 24. Resultado del índice CSDI de las 3 estaciones (a, b, y c)	56
Figura 25. Resultado del índice WSDI de las 3 estaciones (a, b, y c)	57
Figura 26 . Resultado del índice SDII de las 4 estaciones (a, b, c, y d).....	60
Figura 27. Resultado del índice RX5Day de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	61
Figura 28. Resultado del índice RX1Day de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	63
Figura 29. Resultado del índice R99p de las 4 estaciones (a, b, c, y d).....	64
Figura 30. Resultado del índice R95p de las 4 estaciones (a, b, c, y d).....	65
Figura 31. Resultado del índice R25mm de las 4 estaciones (a, b, c, y d).....	67
Figura 32. Resultado del índice R20mm de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	68
Figura 33. Resultado del índice R10mm de las 4 estaciones (a, b, c, y d).....	69
Figura 34. Resultado del índice PRCPTOT de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	70
Figura 35. Resultado del índice GLS de las 4 estaciones (a, b, c, y d).....	72
Figura 36. Resultado del índice FDO de las 4 estaciones (a, b, c, y d)	73

ANEXOS

Anexos 1. Definición de los Índices.	85
--	----

RESUMEN

La presente investigación analiza los posibles efectos de cambio climático sobre la agricultura, a través de los índices recomendados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (ECTCCDI), sobre el área de estudio de Ambato y sus alrededores. Para el cálculo de los Índices de Cambio Climático se tomaron datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación diarios de 4 estaciones meteorológicas aledañas a la zona de estudio: Puyo (M008); Pillaro (M0127); Pedro Fermín (M0128); y Querochaca (M0258) en un rango temporal de 35 a 55 años, los mismos que fueron proporcionados por el INAMHI, la conversión de formatos se realizó con Python, posterior a ello se realizó un control de calidad climatológico minucioso a las series y finalmente se realizó los cálculos en RclimDex. Los resultados indican efectos leves del cambio climático – e inclusive beneficiosos en la región sierra (Ambato y sus alrededores), en los que se cuentan incremento leve de temperaturas mínimas (lo que reduce el riesgo a heladas), y no se registra un incremento de eventos extremos de lluvia. Sin embargo, para la estación del Puyo se presenta un incremento estadísticamente robusto en la aparición de precipitaciones extremas e incremento de las temperaturas mínimas y máximas tanto en intensidad, frecuencia y permanencia. En conclusión, es necesario tomar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en la región del Puyo.

ABSTRACT

This research analyzes the possible effects of climate change on agriculture, through the indices recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (ECTCCDI) on the study area of Ambato and its surroundings. To calculate the Climate Change Indices, the daily data of maximum temperature, minimum temperature and precipitation were taken from 4 meteorological stations near the study area: Puyo (M008); Pillaro (M0127); Pedro Fermín (M0128); and Querochaca (M0258) in a temporal range of 35 to 55 years. This data was provided by INAMHI, nevertheless the format conversion was carried out with Python, after that we carried out a detailed climatological quality control on the series and finally performed the calculations in RclimDex. The results indicate slight effects of climate change - and even beneficial - in the sierra region (Ambato and its surroundings), in which there is a slight increase in minimum temperatures (which reduces the risk of frost), and there are not increase extreme rain events. However, for the Puyo station there is a statistically robust increase in the appearance of extreme rainfall and an increase in minimum and maximum temperatures both in intensity, frequency and permanence. In conclusion, it is necessary to take measures to adapt and mitigate climate change in the Puyo region.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es el resultado de un proceso de calentamiento de la Tierra histórico, producido por la presencia de gases de efecto invernadero como monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, los cuales provienen tanto de fuentes naturales como erupciones volcánicas, -y/o fuentes antrópicas como el uso de combustibles fósiles, agricultura extensiva, deforestación, etc. El efecto del cambio climático en los últimos años ha promovido eventos climáticos extremos como: lluvias torrenciales, incendios forestales, sequías, huracanes en mayor intensidad y/o frecuencia, olas cálidas o frías intensas, afectando directamente todos los sectores especialmente al sector de la agricultura.

Un efecto de cambio climático en la agricultura, puede ser que el aumentar las temperaturas medias del ambiente –y/o precipitación, puede alterar el rendimiento y calidad de la producción de los cultivos, promoviendo la proliferación de malas hierbas, plagas, aumentando las probabilidades de pérdida –y/o reducción de las cosechas a corto plazo y a largo plazo afectando principalmente la calidad de vida de los agricultores, especialmente de los pequeños campesinos.

Es importante mencionar que los impactos del cambio climático serán diferentes para cada región, de manera que ciertos cultivos puedan beneficiarse de estos cambios anómalos, como es el caso de Ambato, sin embargo, con el pasar de los años se espera que los impactos del cambio climático sean negativos especialmente para los países en vías de desarrollo, amenazando la seguridad alimentaria mundial.

2. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General.

Analizar los posibles efectos de cambio climático sobre la agricultura, a través de los índices recomendados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, sobre el área de estudio de Ambato y sus alrededores.

1.2 Objetivo Específicos.

- Recolectar la data con las características necesarias para un estudio de cambio climático: mínimo de 20 a 30 años, temp max, temp min y precipitación de las estaciones meteorológicos de la zona que se va a estudiar.
- Definir climatológica y geográficamente el área de estudio en función de la data disponible.
- Calcular los índices recomendados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático utilizando el paquete computacional R-Climdex (Días secos consecutivos, Valor de temperatura máxima, Valor de temperatura mínima diaria).
- Establecer el nivel de exposición de la agricultura ante los eventos de cambio climático.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Cambio Climático

Según el Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2001), define al Cambio climático como “Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado”.

Por otra parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) (2001), en su Artículo 1, define al cambio climático como: “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos, de tiempo comparables”.

3.2 Factores que causan el Cambio Climático

En concordancia con la evidencia disponible mediante observaciones históricas demuestra que el fenómeno comúnmente llamado cambio climático tiene incidencia regional y global (Galindo et al. 2014), especialmente de origen antrópico, este fenómeno resulta del incremento de concentraciones de gases de efecto invernadero como: metano (16%), dióxido de carbono (65%), óxido nitroso, y otros en la atmosfera (IPCC, 2007), principalmente causados por el uso de combustibles fósiles (carbón, gasolina, y petróleo) (77%), la agricultura (12%) especialmente

aquella que involucra una agricultura convencional, extensiva, con paquetes tecnológicos, e insumos químicos, , y finalmente la deforestación (11%) entre otras (Díaz Cordero, 2012, p 229).

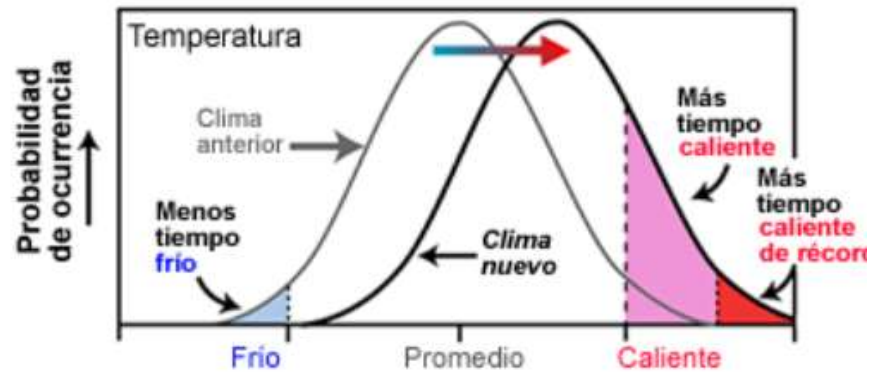
En el estudio de Cordero et al. (2019, pp. 1–3) expresa que los principales países responsables de estas emisiones globales son: China (28%), Estados Unidos (15%), Unión Europea (9%), India (7%), Rusia (5%), Japón (3%) y otros (32%), el mismo autor menciona que estas emisiones globales de CO₂ se han incrementado más del 70% desde 1990.

Según un estudio del IPCC (2019) la Tierra en el último siglo se ha calentado alrededor de medio grado Celsius, y el nivel del mar se incrementó entre 10 a 20 cm, en el 2015 se registró un aumento de 70 mm, también se evidencio un retroceso de hielo del 10%, y el perfil de precipitaciones presentó tendencias climáticas anómalas (Arellano & De Las Rivas, 2006). Además, se espera que para el año 2100 el planeta se calentaría entre 1 y 1.5 grados Celsius (IPCC, 2019), respecto a las temperaturas y el aumento del mar será valores entre 26 y 55 cm (IPCC,2019).

Estas tendencias climáticas anómalas se traducen en: variaciones en la temperatura de los océanos, los patrones de viento, la nubosidad, las precipitaciones, el nivel del mar, la extensión de hielo marino, el hielo de los glaciares, el volumen de los casquetes polares, etc. (Cordero et al., 2019, pp. 1–3). Aumentando la intensidad y frecuencia en un 2,4 veces de los eventos climáticos como las olas de calor, lluvias torrenciales, huracanes, y sequías (Arellano & De Las Rivas, 2006), tal como muestra la Figura 1 y 2.

Figura 1.

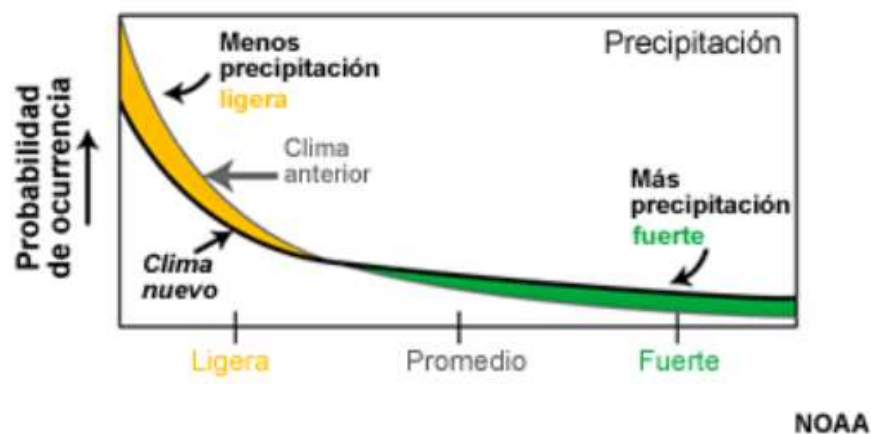
Aumento de la probabilidad de ocurrencia de extremos en un clima más cálido en la temperatura



Nota. El gráfico describe los cambios esperados por los efectos de Cambio Climático Antrópico, en las distribuciones de frecuencia de la temperatura, en la cual se puede observar que existe mayor probabilidad de sufrir temperaturas calientes record. Tomado de The COMET programa NOAA.

Figura 2.

Aumento de la probabilidad de ocurrencia de extremos en un clima más cálido en la precipitación



Nota. El gráfico describe los cambios esperados por los efectos de Cambio Climático Antrópico, en las distribuciones de frecuencia de la precipitación, en la cual que aprecia como antes existía mayor probabilidad de precipitaciones ligeras, mientras que ahora ocurre existe menor probabilidad de precipitaciones, pero más intensas. Tomado de The COMET programa NOAA.

En el estudio de Moreno (2005) sobre evaluación de los impactos en España por efecto de Cambio Climático, menciona que los cambios en las precipitaciones es que los países de Latinoamérica presentarán más lluvias anuales, mientras que en la península ibérica se provee un decrecimiento de 90 mm en cada década, este efecto se visualiza en España. Otro ejemplo es que durante el periodo de 2005 y 2010, en la Región de la Amazonía enfrente sequías, mientras que la región Andina experimento un derretimiento de los glaciares tropicales (Nelson, et al., 2009).

El desarrollo de evidencia sobre el cambio climático es gracias a los modelos climáticos (Mall et al., 2017, p. 43). El mismo autor menciona que los modelos climáticos expresan un 95% de confianza de que el cambio climático es resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, estas simulaciones climáticas nos permiten acercarnos de mejor manera a la incertidumbre de la trayectoria del clima (IPCC, 2007, pp. 1–3; Solomon, 2007), y también a las alteraciones en los patrones de los eventos extremos, tanto en la intensidad como frecuencia y en consecuencia sus efectos (Altieri & Nicholls, 2009, p. 7)

Las últimas proyecciones basadas en modelos de cambio climático en referencia a la agricultura predicen una deflación del 10% en la producción de cultivos para el año 2055 en América Latina (Altieri & Nicholls, 2009, p. 7), equivalente a dos mil millones de dólares por año, afectando principalmente a los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles y marginales, causando más desequilibrio en su calidad de vida (Altieri & Nicholls, 2009, p. 7).

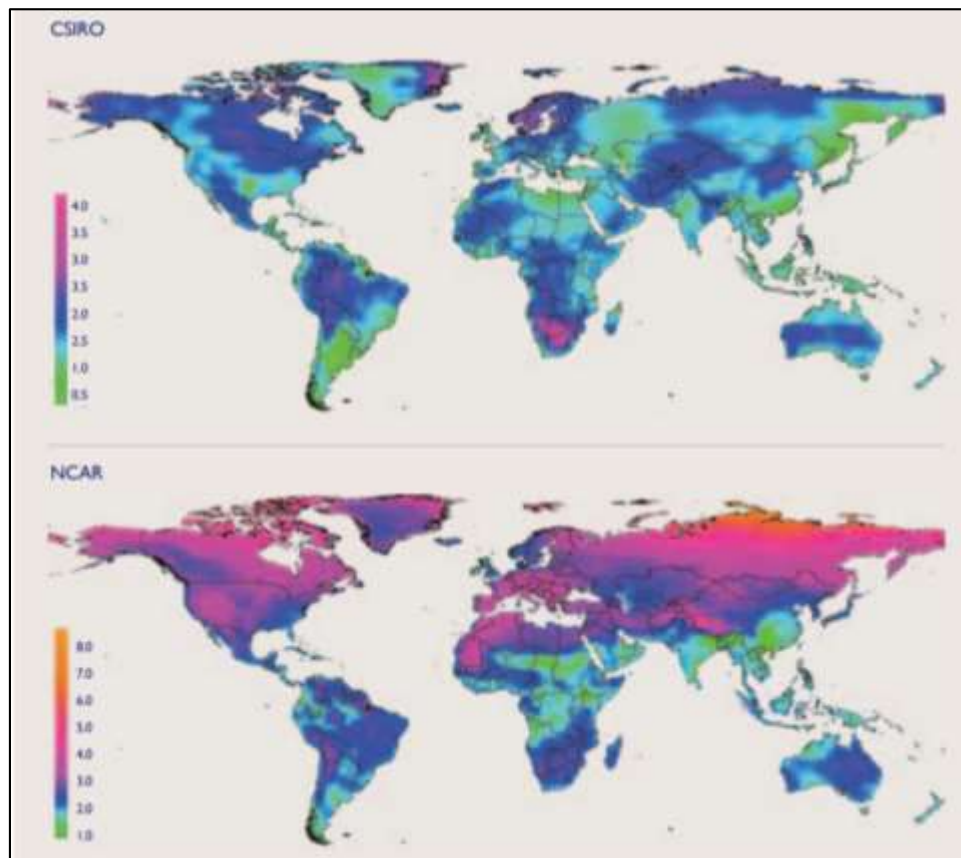
En el estudio de Nelson et al. (2009, 2 p.) de cambio Climático; sus impactos en la agricultura y los costos de adaptación menciona dos escenarios de cambio climático: El primer escenario fue realizado por el Centro Nacional de los Estados Unidos para la investigación Atmosférica (NCAR), y el segundo por la Organización de Investigaciones Científicas e industrial

de la Mancomunidad Británica (CSIRO), ambos escenarios muestran cómo se van alterando las temperaturas y las precipitaciones en el mundo (Nelson et al., 2009, p. 2).

En las Figuras 3 y 4 se puede observar las diferencias más predominantes entre el modelo NCAR Y CSIRO en un periodo de tiempo del 2000 al 2050, respecto a la temperatura máxima y precipitación, para el escenario NCAR se visualiza temperaturas más elevadas, mientras que el modelo CSIRO presenta disminución en las precipitaciones. Una diferencia crucial entre estos dos modelos podría ser que NCAR, es un 10% más húmedo, mientras que el CSIRO es un 10% más seco.

Figura 3.

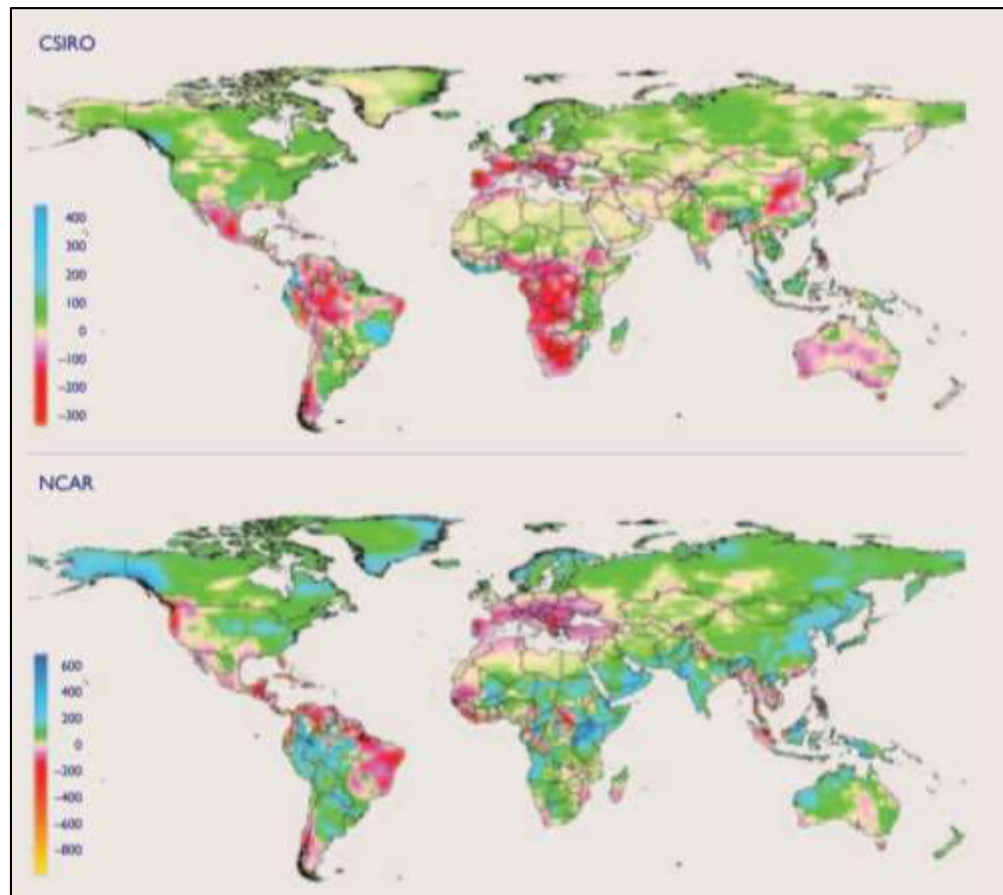
Cambios en la temperatura máxima promedio °C, para el año 2050



Nota. Se puede observar que existe temperaturas más altas para el año 2050. Tomada Nelson et al. (2009, 2 p.)

Figura 4.

Cambios en la precipitación (mm), para el año 2050



Nota. Se puede observar que existe mayor cantidad de precipitaciones para el año 2050. Tomada de Nelson et al. (2009, 3 p.)

3.3 Impactos del Cambio Climático en la agricultura

El sector agrícola desempeña un rol muy importante en la economía mundial (Lopez, 2016). Se estima que aproximadamente 2600 millones de personas pertenecen a este sector, y que alrededor del 40% de la superficie terrestre es ocupada por la agricultura, lo que equivale aproximadamente 1500 millones de hectáreas (Lopez, 2016).

América Latina es una de las principales productoras de alimentos del mundo, gracias a su ubicación geográfica, riqueza de recursos naturales y a su biodiversidad (Nelson et al., 2009). Sin embargo, según el IPCC (2007), América Latina presenta una crecida paulatina pero persistente de la temperatura promedio de $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$, en los últimos 100 años (1906–2005), lo que conlleva que varias regiones sufran alteraciones en sus patrones climáticos.

Según Lopez (2016), menciona que los países en vías de desarrollo serán más vulnerables que los países desarrollados. El mismo autor estima que al sureste de América del Sur probablemente la productividad se mantenga o inclusive incremente para los próximos 15 años, pero al mismo tiempo para la región Centroamérica la productividad podría disminuir poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de las poblaciones más pobres, especialmente a los pequeños agricultores. (Lopez, 2016).

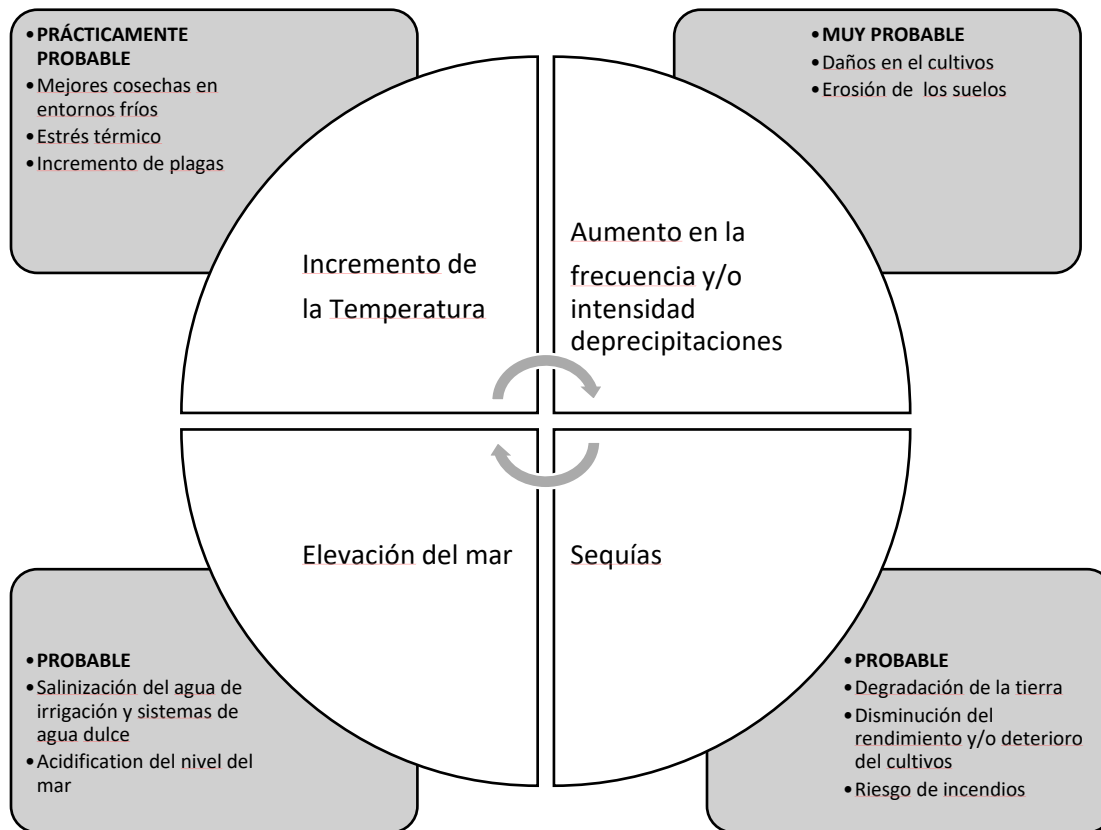
Las condiciones climáticas juegan un papel muy importante en la productividad agrícola (Villavicencio, 2011 y Blasón, 2014). En efecto, el crecimiento, rendimiento medio de los cultivos –y/o la producción está en función de la ubicación geográfica y factores climáticos (Estrada, 2001); tales como la humedad del suelo, la temperatura ($^{\circ}\text{C}$ de días de desarrollo), la precipitación pluvial, luz solar y la fertilidad de la tierra (Estrada, 2001).

Altieri & Nicholls, (2009) mencionan que los efectos serán muy diferentes en cada región, por ejemplo, en zonas semiáridas existe la posibilidad que aumente la frecuencia e intensidad de sequías, generando degradación de la tierra e incendios, mientras que en zonas húmedas se espera el aumento de precipitaciones ocasionando daños de los cultivos –y/o erosión de los suelos tal como se observa en la Figura 5. En el mejor de los casos al inicio ciertos cultivos se beneficiarán de estos cambios climatológicos, sin embargo, con el pasar de los años –y/o el aumento en la

intensidad y frecuencia de estos eventos extremos los cultivos serán más vulnerables (Lopez, 2016; Ocampo, 2011).

Figura 5.

Posibles impactos del cambio climático en la agricultura

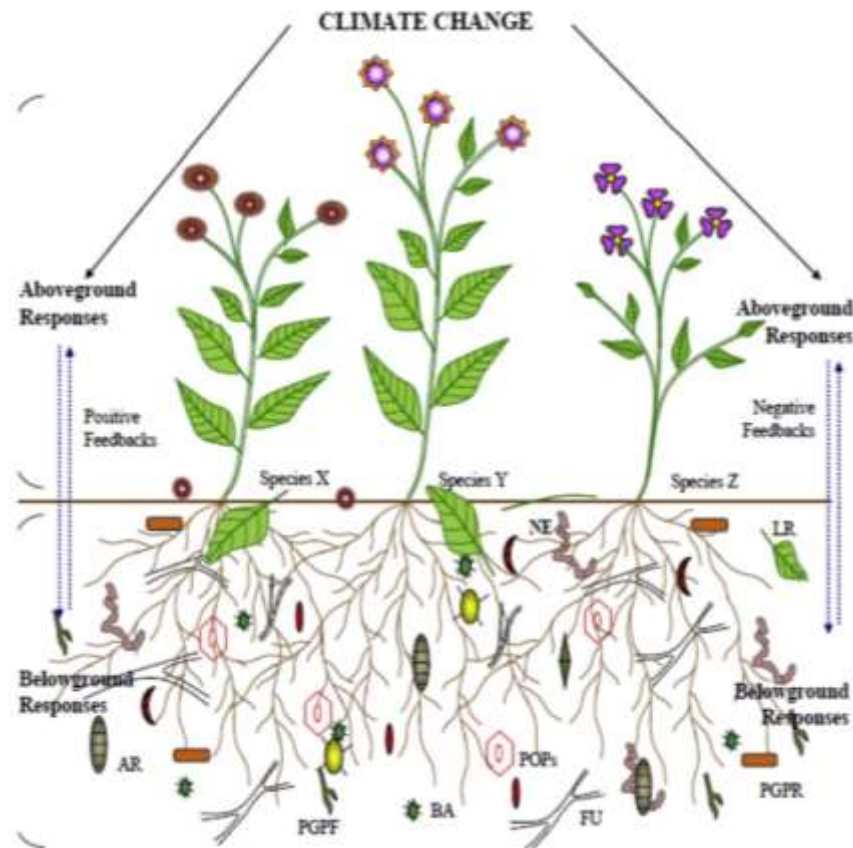


Nota. En esta Figura se puede observar los posibles efectos de los eventos extremos en la agricultura. Tomado de Ocampo, 2011.

En este sentido, uno de las más grande adversidades en relación a eventos climático como altas temperaturas, son el estrés térmico, ya que supera la tolerancia de las especies (Argentel, 2017). El estrés térmico modifica la transpiración, la fotosíntesis, y la eficiencia del uso de agua. Además, algunas investigaciones muestran que un cultivo al sufrir estrés térmico con temperaturas promedio de 2 °C a 3°C, puede reducir de 5 a 6% el rendimiento del cultivo (Argentel, 2017).

Figura 6.

Representación esquemática de las interacciones planta-suelo bajo condiciones climáticas cambiantes.



Nota. Se puede observar artrópodos; hongos promotores del crecimiento de las plantas; bacteria; hongos, planta rizo bacterias promotoras del crecimiento, basura; nematodos; Las especies X, Y y Z son cualquier variedad de plantas que muestra la interacción. Tomado de Mall ,2017.

Como se aprecia en la Figura 6 los cambios en la climatología pueden alterar la superficie del suelo, la dinámica de los nutrientes, la comunidad de descomponedores, etc. –pero también puede afectar las interacciones entre los patógenos, el ciclo de vida, alterar la capacidad de resistencia del huésped, exceso de verano del patógeno, entre otras (Mall, 2017).

Los impactos colaterales del cambio climático en la agricultura, están estrechamente relacionados con una gran brecha entre el acceso y la distribución del alimento (FAO, 2001d. C.), lo que quiere decir que las familias campesinas al no tener acceso a los factores –y/o medios de producción ya disponibles, ocasione un efecto negativo sobre la calidad de vida de los agricultores, de manera que sus condiciones económicas y sociales serán más frágiles e inclusive marginales. Es por esto que Estrada et al. (2013) en su libro de Agroecología y resiliencia socio ecológica: adaptándose al cambio climático. menciona la importancia de practicar una agricultura sostenible con el objetivo de:

- Recuperar los recursos naturales
- Minimizar los impactos hacia el medio ambiente
- Potenciar el autoconsumo (Productividad Familiar)
- Recuperar los conocimientos locales/ culturales y mezclarlo con prácticas agroecológica.
- Responder a las necesidades sociales especialmente de las comunidades rurales (nutrición, salud, educación).

En este contexto, se puede observar que, si no se toman medidas de adaptación y/o mitigación tales como, variedades de cultivos, cambios en las fechas de cultivo y cosecha, irrigación moderada, e inclusive el desarrollo de políticas que respalden a los pequeños agricultores y conduzcan a mejorar la soberanía alimentaria, la preservación de los recursos naturales, igualdad social, entre otras, no serán suficientes para enfrentar los impactos adversos del cambio climático en la agricultura (Fernández, 2013; Altieri et al., 2010).

En la Tabla 1 se puede observar un escenario de cambio climático realizado por Nelson et al. (2009) sobre el rendimiento de los cultivos, con y sin efecto de fertilización, esta producción se

realiza en intervalos de 0,5°C desde el año 2000 al 2050, para esta “producción” se tomó en cuenta especies que generalmente se originan en los países en vías de desarrollo como el arroz, maíz, trigo.

Tabla 1.

Evolución del rendimiento por cultivos provocados por el cambio climático.

Región	CSIRO No CF	NCAR No CF	CSIRO CF	NCAR CF
Maíz, bajo riego				
Países en vías de desarrollo	-2,0	-2,8	-1,4	-2,1
Países desarrollados	-1,2	-8,7	-1,2	-8,6
Maíz, de secano				
Países en vías de desarrollo	0,2	-2,9	2,6	-0,8
Países desarrollados	0,6	-5,7	9,5	2,5
Arroz, bajo riego				
Países en vías de desarrollo	-14,4	-18,5	2,4	-0,5
Países desarrollados	-3,5	-5,5	10,5	9,0
Arroz, de secano				
Países en vías de desarrollo	-1,3	-1,4	6,5	6,4
Países desarrollados	17,3	10,3	23,4	17,8
Trigo, bajo riego				
Países en vías de desarrollo	-28,3	-34,3	-20,8	-27,2
Países desarrollados	-5,7	-4,9	-1,3	-0,1
Trigo, de secano				
Países en vías de desarrollo	-1,4	-1,1	9,3	8,5
Países desarrollados	3,1	2,4	9,7	9,5

Nota. Esta tabla muestra el rendimiento de los cultivos en América Latina, No CF, significa que no utilizaron fertilizantes. Tomado de Nelson et al. (2009, 5p.)

3.4 Ecuador, Agricultura y Cambio Climático

Las condiciones climáticas en el Ecuador están influenciadas por su ubicación geográfica, influencia orográfica de los Andes, presencia de los valles, la Amazonía y el Océano Pacífico (Elbehri et al., 2015, pp. 54).

En el estudio de Elbehri et al. (2015, pp. 54), Ecuador registra un incremento paulatino de eventos climáticos anómalos, un aumento de 0,8°C en la temperatura media anual y cambios en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones del 33% en la región costa y 8% en la región interandina, estas anomalías han generado fenómenos extremos (sequías e inundaciones), cambios en el régimen hidrológico y retroceso en los glaciares (Ludena, et al., 2017).

La agricultura es un pilar fundamental para la economía del Ecuador. La región sierra acaparó el 45,8% del valor de la producción agraria a nivel nacional. Según Gavilanes (2012), las principales ocupaciones del Ecuador, principalmente el cantón Ambato son: Agricultura (47,8%), Pecuaria (19,1%), Hilandería (1.5%) entre otras. El mismo autor menciona que la agricultura de esta región se caracteriza por ser de manera manual y muy poco mecanizada y tecnificada, del total superficie de uso agrícola el 59,73% se destina a cultivos anuales o de ciclos cortos como papa, cebolla blanca, habas, zanahoria, mellocos y el 40,27% a cultivos semipermanente y permanentes como pastos y frutales como pera, manzana, Claudia, durazno, mora. Los cultivos más representativos de la zona son: Papas (17,63%), choclo (14,60%), arveja (12,17%), entre otros (Abril, 2016).

- Según Basantes (2015), la arveja necesita una temperatura de 12 a 16 °C en promedio, un suelo franco arenoso, con un pH de 5,6 a 7,6 y alrededor de 400 y 600 mm de agua en su ciclo, usualmente esta especie se cultiva por los meses de marzo y abril, es importante

mantener la humedad en los cultivos. Esta especie es muy sensible a las bajas temperaturas por lo que no es recomendable sembrar en épocas con precipitaciones extremas y/o excesivo frío, tampoco soporta heladas o temperaturas mayores a 34°C.

- Según Basantes (2015), el haba requiere un clima promedio de 8 a 14°C, un suelo franco arenoso, con un pH de 5,6 a 7,6 y 700 a 1000 mm de precipitación durante el ciclo vegetativo, la siembra debe ser desde mediados de septiembre hasta fines de noviembre. Las habas se adaptan a las zonas frías del Ecuador, y soportan sequías, y heladas.
- El maíz es uno de los cultivos más significativos en la zona andina, este requiere de un clima promedio de 10 a 32°C, soporta precipitaciones de 600 a 1200mm durante el ciclo de cultivo, este cultivo tiene preferencia por suelo francos con un pH de 5.6-7.5 (Basantes, 2015). Según las anomalías en las condiciones climáticas pueden ocasionar una reducción en el rendimiento por temperaturas (-2,5% en el 2020, y -5.06% en el 2030), así como los de precipitación (-4,6% en el 2020, y -0,3% en el 2030).

3.5 Índices utilizados para evaluar Cambio Climático

El equipo de expertos en climatología sobre detección, monitoreo e índices de cambio climático (ETCCDMI) establecido en 1999, ha desarrollado un conjunto de 27 índices utilizados en el paquete computacional ClimDex (Climdex, 2020), que nos permite comprender los patrones de temperatura y precipitaciones extremas a en periodos de tiempo y regiones, también nos proporciona métricas que se pueden utilizar para evaluar la capacidad de los modelos climáticos., (Alexander, L., Donat, M., Takayama, Y., & Yang, H., 2011). Debido a que las principales incidencias del Cambio climático recaen en el incremento temperatura y precipitación, tanto en

magnitud, frecuencia y permanencia (duración de los eventos extremos) se presentan estos índices en la Tabla 2 y 3 aquellos asociados a la temperatura y precipitación respectivamente.

Tabla 2.

Índices de cambio climático basados en la temperatura, recomendados por la ECTCCDI, utilizados en este estudio

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
FD0	Días de heladas	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)<0°C	Días/año
SU25	Días de verano	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)>25°C	Días/año
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)>20°C	Días/año
GSL	Duración de la estación de cultivo	Duración de la estación de cultivo	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	Días
TX10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	Días
TN90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	Días
TX90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	Días
WSDI	Indicador de la duración de periodos calientes	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	Indicador de la duración de periodos fríos	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C

Nota. Esta tabla muestra los índices de cambio climático basados en la temperatura, recomendados por la ECTCCDI, adaptado de (Climdex, 2020)

Tabla 3.

Índices de cambio climático relacionados con las anomalías de la precipitación recomendados por la ECTCCDI

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	Mm
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	Mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por $PRCP \geq 1.0\text{mm}$) en un año	Mm/día
R10	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que $PRCP \geq 10\text{mm}$	Días
R20	Número de días con precipitación muy intensa	Número de días en un año en que $PRCP \geq 20\text{mm}$	Días
Rnn	Número de días sobre nn mm	Número de días en un año en que $PRCP \geq \text{nn mm}$, nn es un parámetro definido por el usuario	Días
CDD	Número máximo de días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR < 1\text{mm}$	Días
CWD	Días húmedos consecutivos ²	Número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1\text{mm}$	Días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que $RR > 95$ percentil	Mm
R99p	Días extremadamente secos	Precipitación anual total en que $RR > 99$ percentil	mm
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos ($RR \geq 1\text{mm}$)	mm

Nota. Esta tabla muestra los índices de cambio climático relacionados con las anomalías de la precipitación adaptada de (Climdex, 2020).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio comprende de la recolección de datos mensuales y el tratamiento de los datos mediante PHYTON, y R-Climdex. Todos estos datos fueron proporcionados por el INAMHI.

4.1 Área de Estudio

La ciudad de Ambato está ubicado dentro de la provincia de Tungurahua, es una de las 24 provincias que forman la República del Ecuador, ubicada a $78^{\circ}; 37' 0''$; de longitud con relación al Meridiano de Greenwich y a $1^{\circ} 14' 0''$ de latitud sur con relación a la Línea Equinoccial, situada a 2600 metros de altitud (Sánchez & Jinde, 2012).

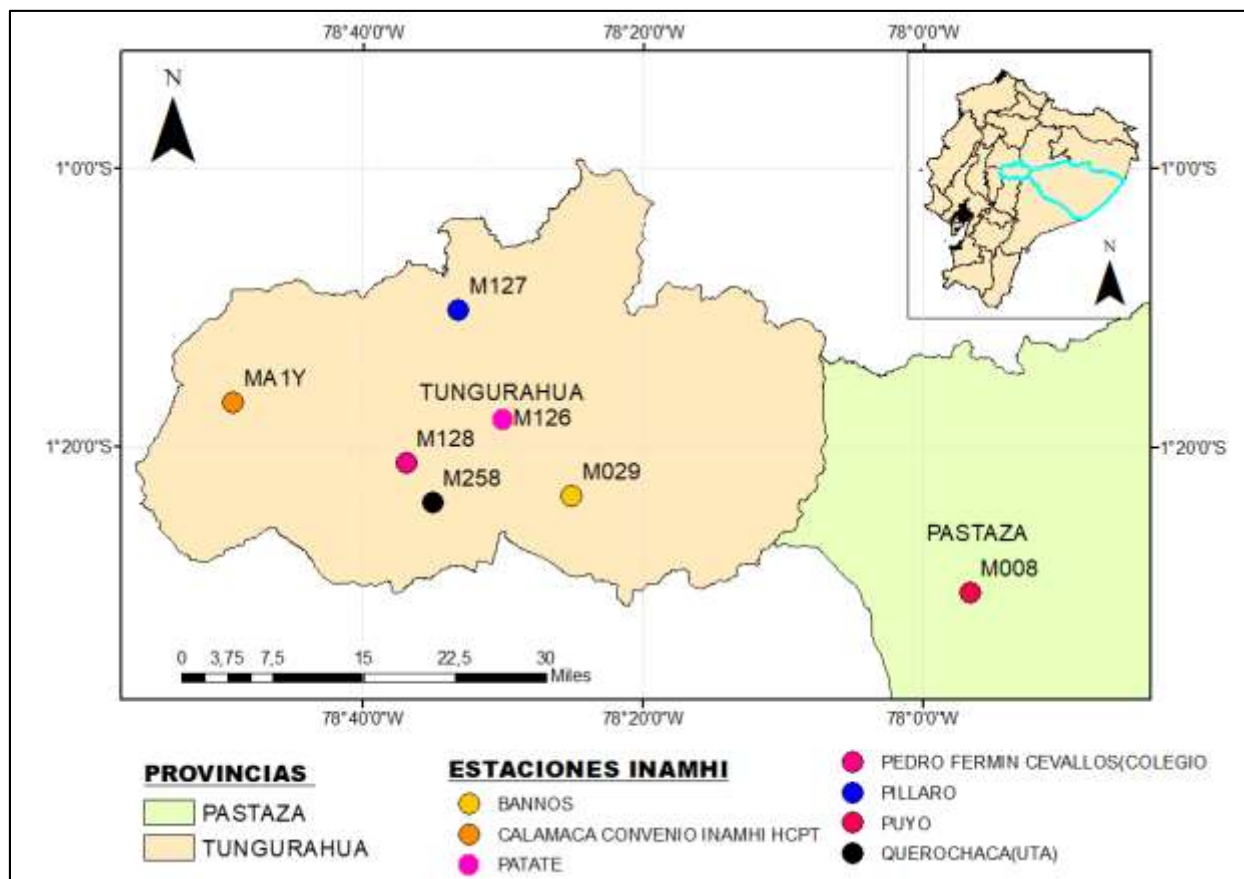
El clima de la ciudad de Ambato es un clima templado, de -10°C a 30°C , debido a que se ubica en un estrecho valle andino. Ocupa un territorio aproximado de 3.386 km^2 , siendo una de las provincias más pequeñas del país por extensión. Limita al norte con Cotopaxi, al sur con Chimborazo, el occidente con Bolívar, al sureste con Morona Santiago, al este con Pastaza y al noreste con Napo. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, se proyecta una población de 590.600 habitantes (Sánchez & Jinde, 2012).

Debido a que las estaciones validas de la provincia de Tungurahua fueron escasas, y para comparar los efectos de la región sierra en relación con la región amazónica, fue necesario ampliar la zona de estudio hasta el Puyo, que pertenece a las provincia de Pastaza, se encuentra a 940 m sobre el nivel del mar, a una latitud de $0^{\circ} 59' -1''\text{ S}$ y a una longitud de $77^{\circ} 49' 0''\text{ W}$, Puyo presenta un clima tropical monzónico. Esta región ha experimentado precipitaciones constantes por lo que no hay una estación seca bien definida, presenta temperaturas promedio de 15°C a 32°C . Según

el INEC (2010), tiene una población entre hombres y mujeres de 33.557 habitantes, lo que la convierte en la cuadragésima tercera ciudad más poblada del país (Figura 7).

Figura 7.

Ubicación de la zona de estudio de la provincia de Tungurahua y el Puyo con las respectivas estaciones meteorológicas.



Nota. En esta Figura se puede observar las estaciones de la zona de estudio. Elaborado por: Jessica Guaman

4.2 Datos utilizados

Para esta investigación utilizamos datos del área de estudio, entregados por el Instituto Nacional de Meteorología e hidrología (INAMHI), miembro de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), organización intergubernamental especializada de las Naciones Unidas para la Meteorología (el tiempo y el clima), la Hidrología Operativa y las ciencias conexas, la misma que recomienda usar datos con el 80% de información para que los resultados sean completos y confiables. (OMM, 2011). Sin embargo, se ha decidido que el umbral de selección de data es del 75% para una estación y 85% para el resto de estaciones, ya que datos faltantes mayor al 15% genera menor confiabilidad en los resultados, causando cambios significativos en la interpretación de eventos climáticos (Hernández, 2005, p. 7).

De un total de 7 estaciones, las mismas que detallan sus características geográficas en la Tabla 4 y su ubicación geográfica en la Figura 7 se realizó una depuración basado en el cumplimiento de requerimientos básicos del paquete computacional ClimDex, y la guía de prácticas Climatológicas de la OMM, quedando un total de 4 estaciones que se presentan en la Tabla 5

Tabla 4.

Características Generales de todas las estaciones meteorológicas de la zona de estudio. Las variables meteorológicas estudiadas son precipitación (rr), temperatura máxima (tx) y temperatura mínima (tn).

Código Estación	Estación	Latitud	Longitud	Altitud [msnm]	Desde	Hasta	Rango Temporal [años]	Variables meteorológicas disponibles
M008	Puyo	1°30'27"S	77°56'38"W	960	1960	2018	58	rr, tn, tx
M0029	Baños	1°23'29"S	78°25'5"W	1695	1950	2018	68	rr, tn, tx
M0126	Patate	1°10'31"S	78°30'33"W	2220	1948	2015	67	rr, tn, tx
M0127	Pillaro	1°10'31"S	78°33'18"W	2793	1964	2014	50	rr, tn, tx
M0128	Pedro Fermín	1°21'9"S	78°36'54"W	2910	1978	2015	37	rr, tn, tx
M0258	Querocha-ca	1°22'2"S	78°36'20"W	2865	1979	2018	39	rr, tn, tx
M1069	Calamac a	1°16'34"S	78°49'8"W	3402	1988	2015	27	rr, tn, tx

Nota. Las estaciones meteorológicas con datos mensuales deben contar con un rango temporal apropiado de 30 años o más. Elaborado por: Jessica Guaman

Tabla 5.

Características generales de las 4 estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio. las variables meteorológicas estudiadas son precipitación (rr), temperatura máxima (tx) y temperatura mínima (tn).

Código Estación	Estación	Latitud	Longitud	Altitud [msnm]	Desde	Hasta	Rango Temporal [años]	Variables meteorológicas disponibles
M008	Puyo	1°30'27"S	77°56'38"W	960	1960	2018	58	rr, tn, tx
M0127	Pillaro	1°10'31"S	78°33'18"W	2793	1964	2014	50	rr, tn, tx
M0128	Pedro Fermín	1°21'9"S	78°36'54"W	2910	1978	2015	37	rr, tn, tx
M0258	Querocha ca	1°22'2"S	78°36'20"W	2865	1979	2018	39	rr, tn, tx

Nota. Las estaciones meteorológicas con datos mensuales deben contar con un rango temporal apropiado de 30 años o más. Autor: Jessica Guamán

4.3 Métodos

4.3.1 *Pre- procesamiento de datos*

En este estudio, los datos diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima se tomaron 3 estaciones de la provincia de Tungurahua y 1 de la provincia de Pastaza. Las características geográficas de la zona de estudio se visualizan en la Tabla 5.

Debido a que el formato emitido por el INAMHI, no fue compatible para usar directamente en RClimDEX, se realizó un procedimiento previo en PHYTON, dirigido por MSc. Rodrigo Tufiño, miembro del Grupo de Investigación Infraestructura de Datos Espaciales, Inteligencia Artificial Geoportales Y Computación Aplicada (IDEIAGEOCA) de la Universidad Politécnica Salesiana.

4.3.2 *Conversión de formatos de los datos meteorológicos*

Antes de analizar la información de las estaciones meteorológicas, fue necesario cambiar el formato de los datos. Para esto se creó un script en el lenguaje de programación Python (Python, 2020) que transforma la información proporcionada por el INAMHI, a un formato que pueda interpretar RClimDEX (ECCC-CDAS, 2020).

4.3.3 Formato del INAMHI

Los datos meteorológicos proporcionados por el INAMHI se encuentran en un formato de texto separados por tabuladores (CSV, comma-separated values) (Formato CSV, 2020). Los datos de cada una de las variables medioambientales se encuentran en archivos separados. Cada línea de texto dentro del archivo representa la información que registra una estación meteorológica en un determinado mes.

La primera línea de texto dentro del archivo representa la cabecera de la tabla. Dispone de 34 columnas. Las tres primeras columnas representan el código de la estación meteorológica, el año y el mes. Las siguientes 31 columnas representan cada uno de los días del mes para el cual se está registrando la medición. Para los meses menores a 31 días, se colocan valores NULL dentro de la columna respectiva. En la Tabla 6 se muestra como se encuentra estructurada la información dentro de estos archivos.

Tabla 6.

Representación del formato de datos del INAMHI para información de precipitación de la estación M008

codigo	anio	mes	v1	v2	...	v30	v31
M008	1960	6	12.2	0.0	...	5.3	NULL
M008	1960	7	2.3	4.6	...	0.0	7.7
...
M008	2018	10	42.6	0.0	...	2.5	1.0

Nota. En esta tabla se puede visualizar el formato de datos emitido por el INAMHI. Elaborado por Rodrigo Tufiño, 2020.

4.3.4 Formato de RClimDEX

Para analizar los datos meteorológicos dentro de RClimDEX también se requiere de un archivo de texto CSV. Este formato difiere del proporcionado por el INAMHI en dos aspectos. Primero, la información de todas las variables medioambientales que se requieren analizar deben estar en un solo archivo. Segundo, el registro (línea de texto dentro del archivo) debe ser de un día y no de todo el mes.

De esta manera, el formato para RClimDEX dispone de siete columnas. Las primeras cuatro columnas representan el código de la estación meteorológica, el año, el mes y el día. Las siguientes tres columnas representan la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. En la Tabla 7 se muestra la estructura del archivo requerido para RClimDEX.

Tabla 7.

Representación del formato de datos para RClimDEX para precipitación, temperatura máxima y mínima.

codigo	anio	mes	dia	precipitación	temp_maxima	temp_minima
M008	1960	2	28	61.4	24.0	9.0
M008	1960	3	1	12.3	23.6	11.4
...
M008	2018	10	31	1.0	24.2	18.5

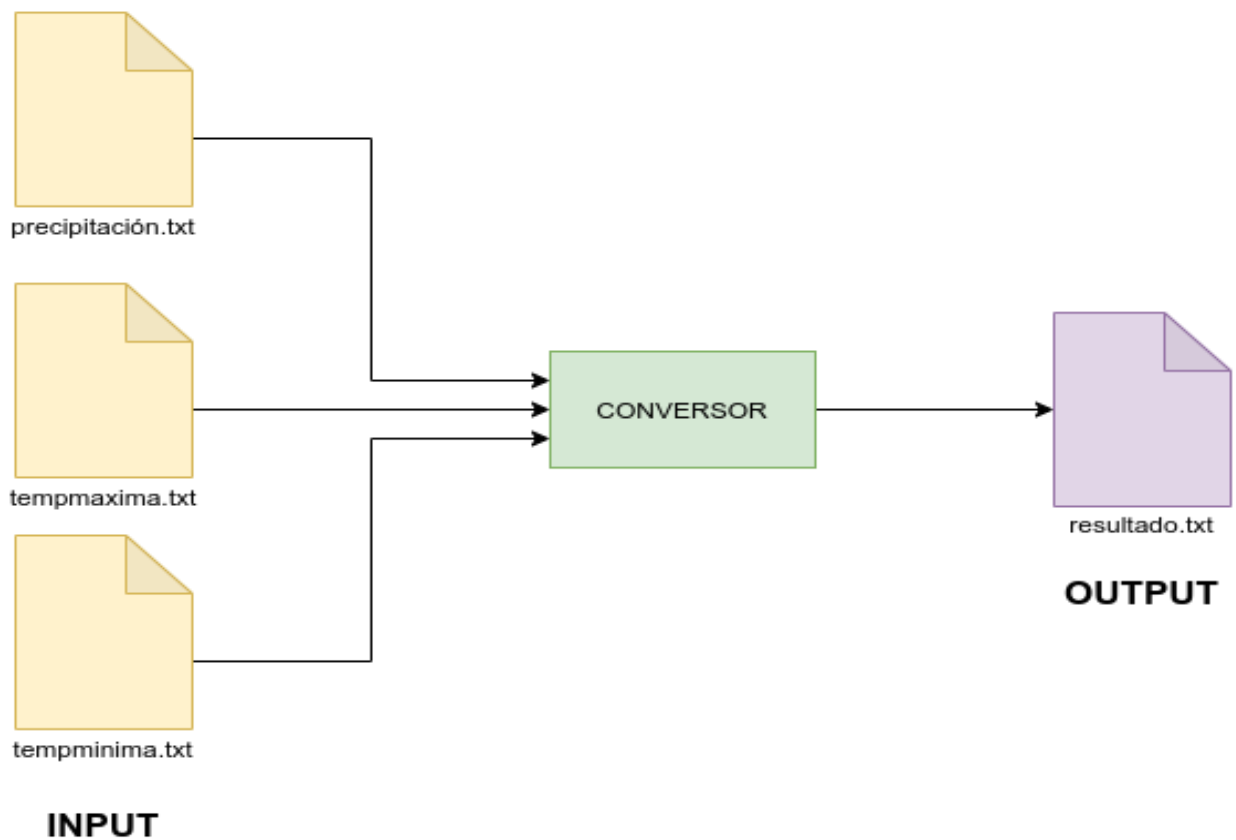
Nota. En la tabla se puede visualizar el formato de datos que admite el programa computacional rClimDex. Elaborado por Rodrigo Tufiño, 2020

4.3.5 Script de Python

El script en Python implementa un algoritmo cuyas entradas son los archivos individuales de cada una de las variables meteorológicas proporcionados por el INAMHI y la salida es un archivo con el formato requerido para rClimdex. La versión inicial del algoritmo se diseñó para las tres variables meteorológicas requeridas. Sin embargo, actualmente el algoritmo puede procesar más variables y varias estaciones meteorológicas. En la Figura 8 se aprecia una representación simplificada de las entradas y salidas del algoritmo.

Figura 8.

Representación simplificada de las entradas y salida del algoritmo de conversión de formatos.



Nota. Representación de entrada y salida de algoritmos para transformar el formato de datos. Elaborado por Rodrigo Tufiño, 2020.

El algoritmo consta de dos procedimientos principales, uno para cargar los datos de los archivos de entrada y otro para procesar la información y generar el archivo de salida.

```
DATA = {  
    'PRECIPITACION': [],  
    'TEMP_MAXIMA': [],  
    'TEMP_MINIMA': [],  
    'VIENTO': [],  
    'PRESION': [],  
    'HUMEDAD': [],  
    'TIEMPO': []  
}
```

El algoritmo inicia definiendo listas para cada una de las variables meteorológicas que se requieren procesar. Estas listas se denominan DATA. El primer procedimiento del algoritmo es leer cada uno de los archivos de entrada y almacenar cada registro (línea de texto) dentro de las listas de DATA.

```
def cargar_datos():  
    for magnitud in DATA:  
        archivo = "input/" + magnitud.lower() + ".txt"  
        if os.path.exists(archivo):  
            file = open(archivo, 'r')  
            datos = []  
            primera_fila = True  
            for linea in file.readlines():  
                if primera_fila:  
                    primera_fila = False  
                    continue  
                datos.append(linea.rstrip().split('\t'))  
            file.close  
            DATA[magnitud] = datos  
            print("Datos de",magnitud,"cargados")  
        else:  
            print("No existe archivo para", magnitud)
```

A continuación, se procesa la información de DATA. Para ello, el procedimiento requiere de tres datos: una lista con los códigos de las estaciones meteorológicas, la fecha de inicio y la fecha final de registro de los datos (Por ejemplo, algunas estaciones disponen datos desde el año

1960; mientras que otras solo desde el año 1980). El procedimiento inicia creando una lista con la cabecera con las cuatro columnas iniciales del archivo de salida y las unidades meteorológicas que se van a procesar. Esta lista es asignada a una variable denominada salida.

Luego, se genera una lista ordenada por cada mes en el rango de fechas establecido en el procedimiento. Esta lista se denomina fechas. El procedimiento continuo con dos bucles anidados. El primer bucle recorre la lista de códigos de las estaciones meteorológicas. Mientras que, el segundo bucle recorre cada uno de los días en fechas.

```
def procesar(codigos, desde, hasta):
    cabecera = ['CODIGO', 'ANIO', 'MES', 'DIA']
    for magnitud in DATA:
        cabecera.append(magnitud)
    salida = [cabecera]
    fechas = generar_fechas(desde, hasta)
    for codigo in codigos:
        for fecha in fechas:
            anio = int(fecha.split("-")[0])
            mes = int(fecha.split("-")[1])
            row_a = consultar(DATA['PRECIPITACION'], codigo, anio, mes)
            row_b = consultar(DATA['TEMP_MAXIMA'], codigo, anio, mes)
            row_c = consultar(DATA['TEMP_MINIMA'], codigo, anio, mes)
            row_d = consultar(DATA['VIENTO'], codigo, anio, mes)
            row_e = consultar(DATA['PRESION'], codigo, anio, mes)
            row_f = consultar(DATA['HUMEDAD'], codigo, anio, mes)
            row_g = consultar(DATA['TIEMPO'], codigo, anio, mes)
            filas = armar_datos(codigo, anio, mes, row_a, row_b, row_c, row_d, row_e, row_f, row_g)
            salida.extend(filas)
    guardar(codigo, salida)
```

Dentro del segundo bucle se realizan varias cosas. Primero, se obtiene el año y el mes del día que se está iterando. Luego, por cada variable meteorológica se consulta dentro de DATA la información para la estación meteorológica en el año y mes que se está iterando. A continuación, con el resultado de la consulta de cada variable se arman los datos en el formato requerido para el archivo de salida. Posteriormente, se agrega la información a la variable de salida. Finalmente, el

procedimiento guarda la información procesada de la variable de salida en un archivo de texto con el nombre de la estación meteorológica que se está procesando.

El algoritmo completo se encuentra en el repositorio de GitHub del Rodrigo Tufiño (<https://github.com/rtufino/Conversor-Datos-Meteorologicos>).

4.4 Control de Calidad Climatológico de datos

Para calcular los índices de Cambio Climático, se procedió a realizar un control de calidad de las series, mediante el análisis de las series de tiempo, revisión de valores atípicos, revisión de errores de bias (generalmente debidos a cambios de equipos, que derivan en saltos indeseados de los datos), y valores con errores en la digitación (Zhang, X., & Yang, F., 2004). Detallamos a continuación el proceso realizado:

1. Reemplazar todos los datos faltantes (NA, no disponibles) por -99.9
2. Reemplazar por NA los valores no razonables, como:
 - cantidades de precipitación diaria menor que 0, y
 - temperaturas máximas diarias menores a las temperaturas mínimas diarias, por -99.9.
 - Identificar los valores extremos (outliers), en temperaturas máximas y mínimas.
 - Identificar errores por posibles cambios de equipo, produciendo saltos o inflexiones de la data, también llamados errores de bias.

Además, para propósitos de visualización se realizó graficas de series temporales y gráficas de dispersión.

Observación. - Es importante mencionar que no se realizó un relleno de datos, ya que la resolución requerida en este estudio es diaria, con el objetivo de encontrar eventos extremos y su incremento en frecuencia, permanencia y/o intensidad. Un relleno de datos, hubiese incrementado artificialmente la presencia de valores promedios, y disminuido la presencia real de los valores extremos.

4.5 Calculo de índices de Cambio climático en Climdex de Rstudio.

4.5.1 Paquete computacional RCLIMDEX

1. En resumen, RClimDex es programa para cálculos y gráficos estadísticos, para la instalación y ejecución necesitamos el paquete base de R y la interfase gráfica de usuario TclTk, los mismos que se pueden obtener a través del siguiente enlace <http://www.r-project.org> y <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RClimDex/rclimdex.r> (Figura 9).
2. Para ejecutar es necesaria dar un doble clic en el icono de R en el escritorio, y ejecutarlo con la palabra “estart”, en el cual se abrirá la pantalla que se muestra en la gráfica (a).
3. Para cargar la data de los índices que serán calculados y ejecutar el respectivo control de calidad, seleccionamos “Load Data and Run QC” del Menú RClimDex como muestra la gráfica (b). Los valores en el archivo deberían ser en el formato descrito en Bloc de notas.
4. Después que todos los valores fueron validados, y/o corregidos en caso de existir algún tipo de valores no razonables, aparecerá la gráfica (c), en la cual seleccionaremos los índices que vamos a calcular.

5. Finalmente, aparecerá ventana (d) cuando los índices seleccionados han sido calculados.

Figura 9.

Manual de usuario de sobre el manejo del software “RClimDex”



(a)



(b)



(C)



(d)

Nota. La Figura 9 (a, b, c, y d) muestra los pasos para cargar los datos en el paquete computacional.

4.6 Índices de cambio climático recomendados por la ECTCCDI

Los índices de cambio climático que fueron calculados, fueron tomados de (Zhang, X., & Yang, F., 2004), los mismos que se muestran en la Tabla 7 y 8, con sus respectivas definiciones.

Sin embargo, debido a las características de la zona tropical, en donde no existen estaciones invernales con temperaturas bajo 0°C, se utilizan menos índices en la siguiente tabla se presentan los índices que más afectan a las zonas andinas y/o tropicales incluyendo la dinámica con el incremento de los GEIs en el contexto del Cambio Climático (Serrano et al. 2012).

Tabla 8.

Índices de cambio climático basados en la temperatura, recomendados por la ECTCCDI, utilizados en este estudio

ID	Nombre del Indicador	UNIDAD	Cambios esperados por incremento de efecto invernadero (IPCC, 1995)
SU25	Días de verano	Días/año	
GSL	Duración de la estación de cultivo	Días	
TXx	Max Tmax	°C	
TX90	Días calientes	Días	Los GEI forzan un incremento de temperatura haciendo que las temperaturas durante el día se incrementen.
TX10	Días fríos	Días	
TXn	Min Tmax	°C	
			Razón por la cual el incremento de GEIS aumenta Tmáx
TNn	Min Tmin	°C	Los GEI generan un incremento de temperatura haciendo que las noches cálidas se incrementen. Este indicador podría reflejar efectos potencialmente dañinos por la ausencia del enfriamiento nocturno, principal contribuyente del estrés térmico.
TN10	Noches frías	Días	
TN90	Noches calientes	Días	
TNx	Max Tmin	°C	

ID	Nombre del Indicador	UNIDAD	Cambios esperados por incremento de efecto invernadero (IPCC, 1995)
WSD I	Indicador de la duración de periodos calientes	Días	Los GEI generan un incremento de la temperatura generando incremento de evaporación, favoreciendo potencialmente a las sequías.
CSDI	Indicador de la duración de periodos fríos	Días	
CDD	Número máximo de días secos consecutivos	Días	
CWD	Días húmedos consecutivos ²	Días	
DTR	Diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas para cada año	°C	Se espera la disminución del DTR como consecuencia directa del aumento del calentamiento nocturno (aumento de temperaturas mínimas). Por otro lado, la disminución en DTR puede deberse a la reducción de la insolación diurna a través del engrosamiento de la cobertura nubosa gris (que generaría disminución de las temperaturas máximas). Para llegar a conclusiones es necesario revisar los valores de temperaturas máximas y mínimas.
TR20	Noches tropicales	Días/año	

Nota. En la tabla de puede observar los cambios esperados por el incremento de efecto invernadero. Adaptado de Serrano, S. et al. 2012.

Tabla 9.

Índices de cambio climático relacionados con las anomalías de la precipitación recomendados por la ECTCCDI, utilizados en este estudio.

ID	Nombre del Indicador	UNIDAD	Cambios esperados por incremento de efecto invernadero (IPCC, 1995)
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Mm	Los GEI generan un incremento del ciclo hidrológico, ya que favorecen la nucleación del vapor de agua en lluvia. Asimismo, el incremento de temperatura permite que la atmósfera contenga más vapor de agua disponible, y por lo tanto se espera un incremento de precipitaciones intensas y/o extremas.
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Mm	
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Mm/día	
R10	Número de días con precipitación intensa	Días	
R20	Número de días con precipitación muy intensa	Días	
Rnn	Número de días sobre nn mm	Días	
R95p	Días muy húmedos	Mm	
R99p	Días extremadamente secos	mm	
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	mm	

Nota. En la tabla de puede observar los cambios esperados por el incremento de efecto invernadero. Adaptado de Serrano, S. et al. 2012.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis estadístico de las variables meteorológicas.

Tabla 10.

Cálculos estadísticos de las estaciones que se va a estudiar.

Estación	Calculo	Precipitación	T-Max	T-Min
M008	Mínimo	0	13.9	5.8
	Máximo	164.7	33	21.1
	Q1	0.7	25	16.2
	Q2	5.7	26.7	17.2
	Q3	17.8	28	18.1
	n	19967	19383	19362
	Porcentaje de datos validos	93%	90%	90%
M0127	Mínimo	0.1	9	-5.6
	Máximo	49.9	29.9	16.1
	Q1	0.5	17.4	7.1
	Q2	1.6	19.3	8.5
	Q3	4.2	21.2	9.5
	n	15689	14283	13820
	Porcentaje de datos validos	85%	77%	75%
M0128	Mínimo	0.1	8.6	-3.4
	Máximo	97.7	30	13880
	Q1	1	17	6.8
	Q2	2	18.8	8.2
	Q3	4.4	20.4	9.2
	n	12982	12690	12321
	Porcentaje de datos validos	94%	91%	89%
M0258	Mínimo	0	9.2	-1
	Máximo	41.7	26.5	12.1
	Q1	0	16.9	6.4
	Q2	0.2	18.8	7.9
	Q3	1.6	20.6	8.9
	n	12137	12066	12088
	Porcentaje de datos validos	83%	83%	83%

Nota. En la tabla se visualiza los valores máximos, mínimos, cuartil 1 (Q1), cuartil 2 (Q2), cuartil 3 (Q3), números de datos (N), y el porcentaje de datos válidos. Elaborado por: Jessica Guaman, 2020

Debido a la gran cantidad de índices utilizados, se los divide entre aquellos que se relacionan con la temperatura, y aquellos que se relacionan con la precipitación, de igual forma se realizó un análisis estadístico para corroborar los resultados obtenidos en el modelo, (Tabla 10) en el cual se puede observar los valores máximos, mínimos, promedio, cuartil 1, cuartil 2, cuartil 3, numero de datos y el porcentaje datos válidos.

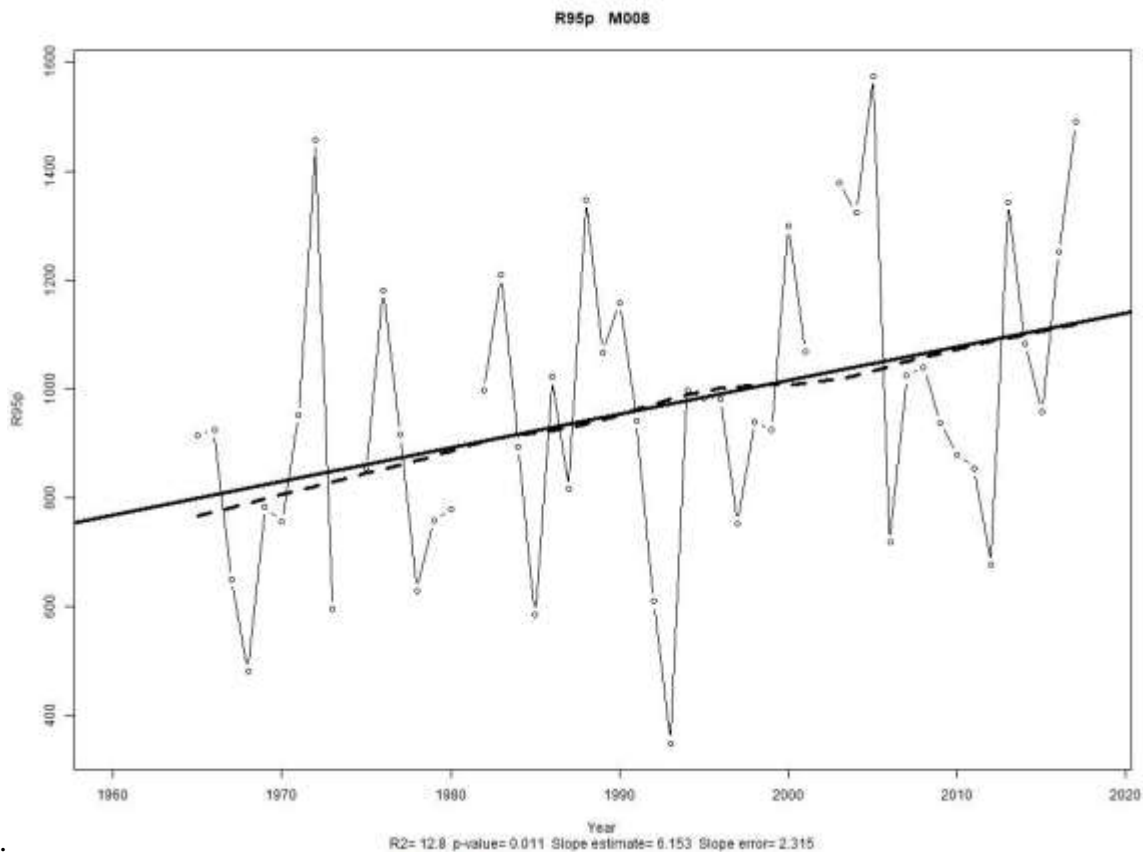
5.2 Análisis de los índices de Cambio Climático

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio; tras la aplicación de los índices recomendados por la ETCCDMI, los mismos que se están clasificados por temperatura y precipitación y según las características meteorológicas de su zona en Ecuador.

En este estudio, las gráficas que se presentarán a continuación graficarán los índices año a año (e inclusive mes a mes según el caso) con una línea unida por pequeños círculos. Asimismo, se presenta la media móvil mediante una línea entrecortada, mientras que la línea recta continua es un ajuste de regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados. Al final de cada Figura se presenta el R^2 , que nos indica el porcentaje de datos que caen dentro de la tendencia lineal (cabe indicar que será un valor muy bajo ya que la señal climática siempre será oscilante), se presenta también la significancia estadística p-value, que nos indica qué tan constante –y confiable- es la tendencia a incrementar o disminuir. Slope es la pendiente de la recta y error-slope el error correspondiente. Tal como se presenta en la Figura 11.

Figura 101

Gráfica del índice de días muy húmedos (R95p) generada por RClimDex



Nota. En la Figura se visualiza un ajuste de tendencia lineal y una ponderada (Línea punteada).

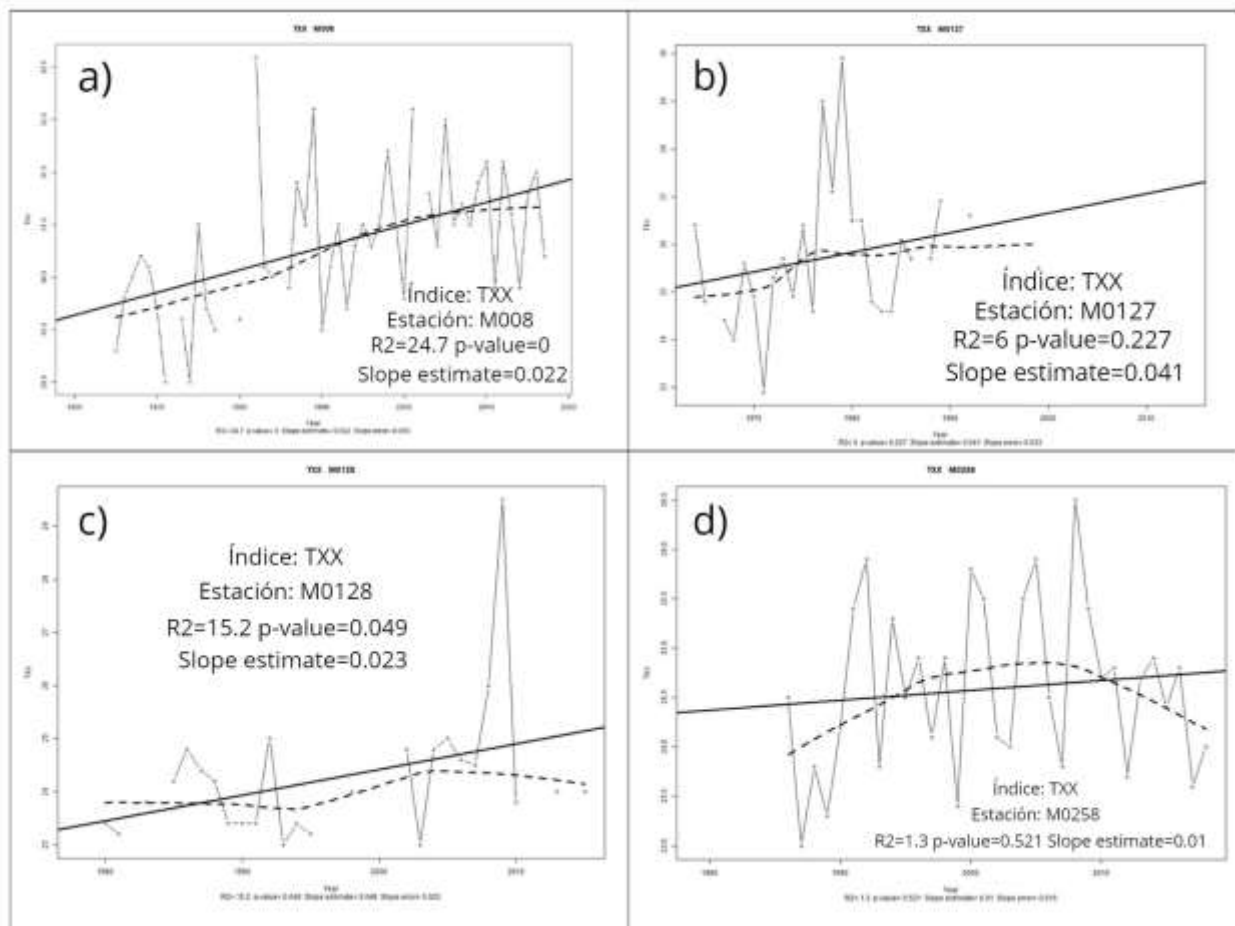
Se mostrará una gráfica para cada estación, por cada índice. En aquellos casos, en los que no aparezcan las cuatro estaciones estudiadas, se deberá a que la serie de datos no estaba lo suficientemente completa para el cálculo del índice. Luego del análisis de cada grupo de índices que se relacionen ya sea con temperaturas máximas, mínimas o precipitación; se presentará una tabla resumen de los resultados logrados.

5.3 Índices de Temperatura máxima

Los índices recomendados son los cuales se representa con una línea entre cortada la media móvil, con una línea continua una recta ajustada por el método de mínimos cuadrados con su respectiva pendiente (slope), su error y también el R2, el mismo que explica el porcentaje de datos se ajustan al modelo.

Figura 11.

Resultado del índice TXx de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria TXx

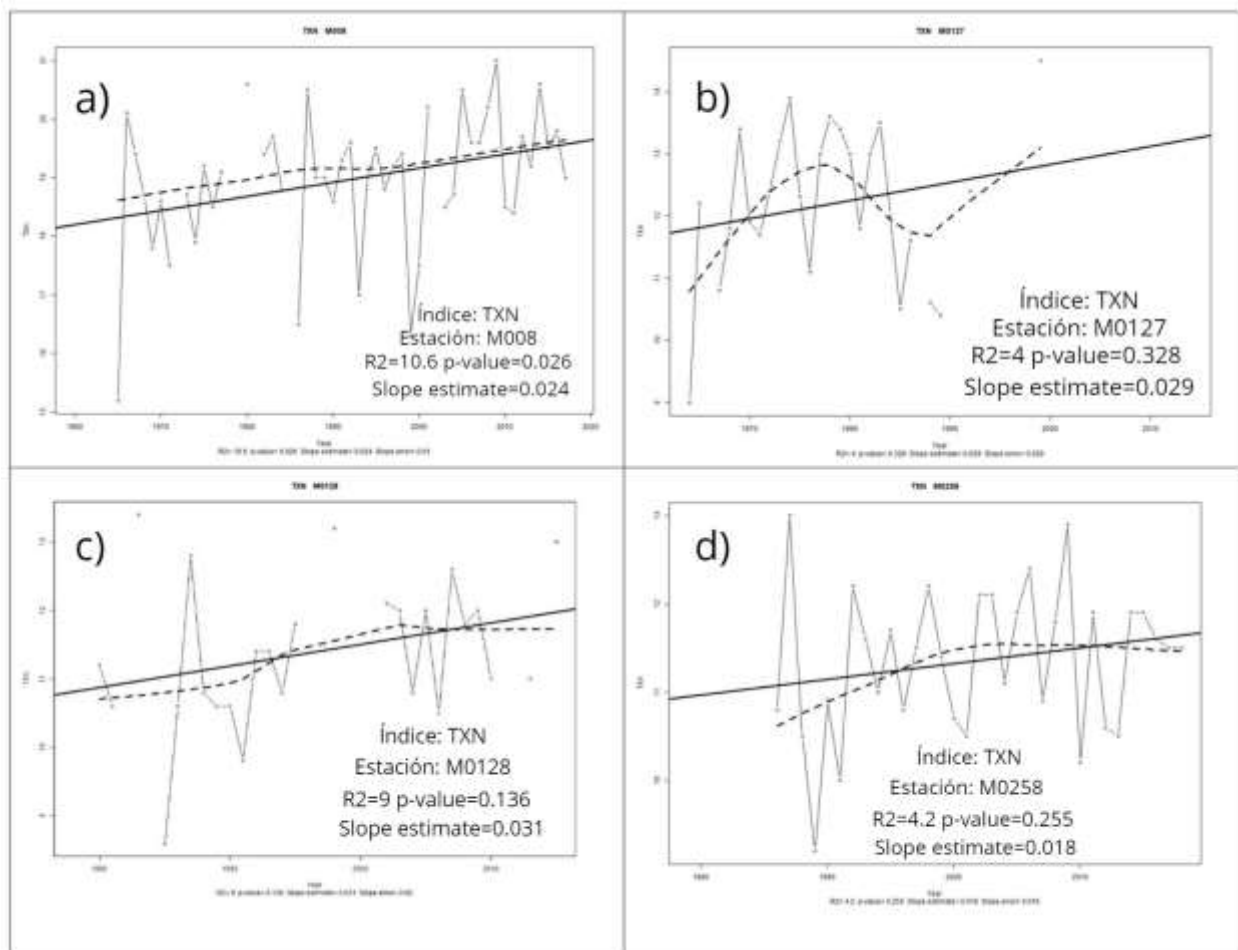
En la Figura 11 (a,b,c,d), se muestra el índice de valor mensual máxima de temperatura diaria (TXx), generalmente estos valores se registran a las horas posteriores del medio día, la primera gráfica es la estación M008 (a) que presenta un récord de temperatura en 1982 de 32,6°C y un mínimo de temperatura máxima de 29,5°C en el año de 1971, en este caso las temperaturas registradas en el día presentan un incremento estadísticamente totalmente significativo ($p\text{-value}=0$) el cual indica que realmente están incrementando las temperaturas diariamente, concordando totalmente con las previsiones de cambio climático según el IPCC. Después del 2010 se visualiza un periodo de enfriamiento, sin embargo, en la serie general se sigue calentando, pero no de la misma intensidad.

La estación M0127 (b) corresponde a la zona sierra, en la cual se obtuvo un record de temperatura máxima de 29,9 °C en el año 1979, y un mínimo de temperatura máxima de 22.9°C en el año de 1971, la gráfica (b) refleja que serie está incompleta, sin embargo, hasta donde se obtuvieron los datos se podría decir que existe calentamiento con una significancia estadística alta ($p\text{-value}= 0.227$). La estación M0128 (c) presenta datos incompletos, por lo tanto, no se puede afirmar si hay no efectos de cambio climático, no obstante, con los datos que se han registrado se puede afirmar que si presentan un calentamiento sobre todo en el año 2012 donde se obtuvo un record de temperatura máxima de 30 °C y un mínimo de temperatura máxima de 23 °C. En cambio en la estación M0258 (d) tenemos una serie completa, evidenciando que los datos de temperatura máxima diaria están incrementando de manera constante hasta el 2008, donde se registra el valor máximo de temperatura de 26,5 °C, y temperatura máxima mínima de 23 °C en 1987 con un $p\text{-value}$ de 0,521, no obstante a partir d el mismo año se evidencia una disminución de estas temperaturas debido a esto podríamos decir que existe un evento de enfriamiento, concordando la gráfica con la media móvil. Según la tabla 10, a nivel comparativo vemos que la

pendiente más alta es de la estación M0128 y M0258, las cuales son estadísticamente significativas, sin embargo, esta última no se calienta tan rápido debido que incrementa 0.0 22°C por mes.

Figura 12.

Resultado del índice TXn las 4 estaciones (a, b, c, y d)

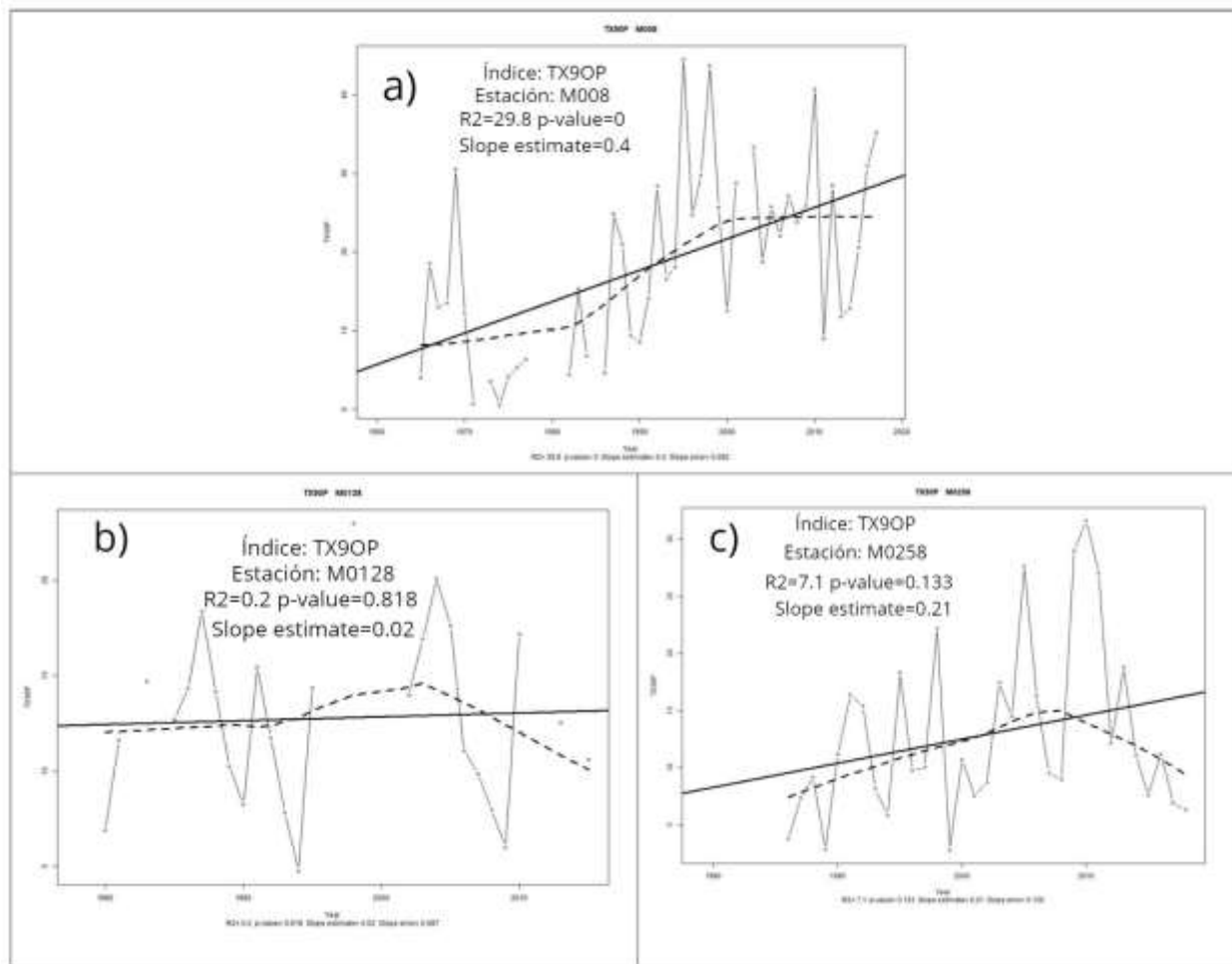


Nota. Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria (TXn)

En la Figura 12 (a, b, c, y d), se muestra el valor mensual mínimo registrado de temperatura máxima diaria, usualmente estos valores son registrados en las primeras horas de la mañana, en primer lugar, vamos a estudiar. Para la estación M008 (a), en donde se visualiza un incremento estadísticamente muy significativo ($p\text{-value}=0.026$), el cual se obtuvo un record máximo del mínimo mensual de temperatura máxima diaria de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 2009 y un mínimo de $15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 1965, de manera que podríamos afirmar que está muy sostenido el incremento de temperatura. La estación M0127 (b) existe una significancia estadística un poco baja ($p\text{-value}=0.328$), el cual se obtuvo un record máximo del mínimo mensual de temperatura máxima diaria de $14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 1999 y un mínimo de $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 1964, la gráfica mostró un comportamiento oscilante, incrementado de manera suave, congruente con el tema de cambio climático. La estación M0128 (c) presenta datos incompletos, la cual presenta una temperatura record máximo del mínimo mensual de temperatura máxima diaria de $13.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 1983 y un mínimo de $8,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 1985, mostrando un incremento de temperatura, con un $p\text{-value}$ de 0.026. La estación M0258 (d) tiene una serie más completa de datos, en la cual se observa el valor record máximo del mínimo mensual de temperatura máxima diaria de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 1987 y un mínimo de $9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el año 1989, y un $p\text{-value}$ de 0.255, además es importante mencionar que por el 2007 existió una tendencia de decremento, sin embargo, no deja de aumentar a nivel general. En la tabla 10 se visualiza nuevamente que la estación M008 y M0258 son significativos, la M0127 tiene datos incompletos y la M0128 tiene muchos vacíos. A pesar de eso se podría decir que las temperaturas mínimas aumentan más rápido que las temperaturas máximas.

Figura 13.

Resultado del índice TX90p de las estaciones (a, b, y c)



Nota. Porcentaje de días al año cuando la temperatura máxima es mayor al percentil 90 (Días calientes)

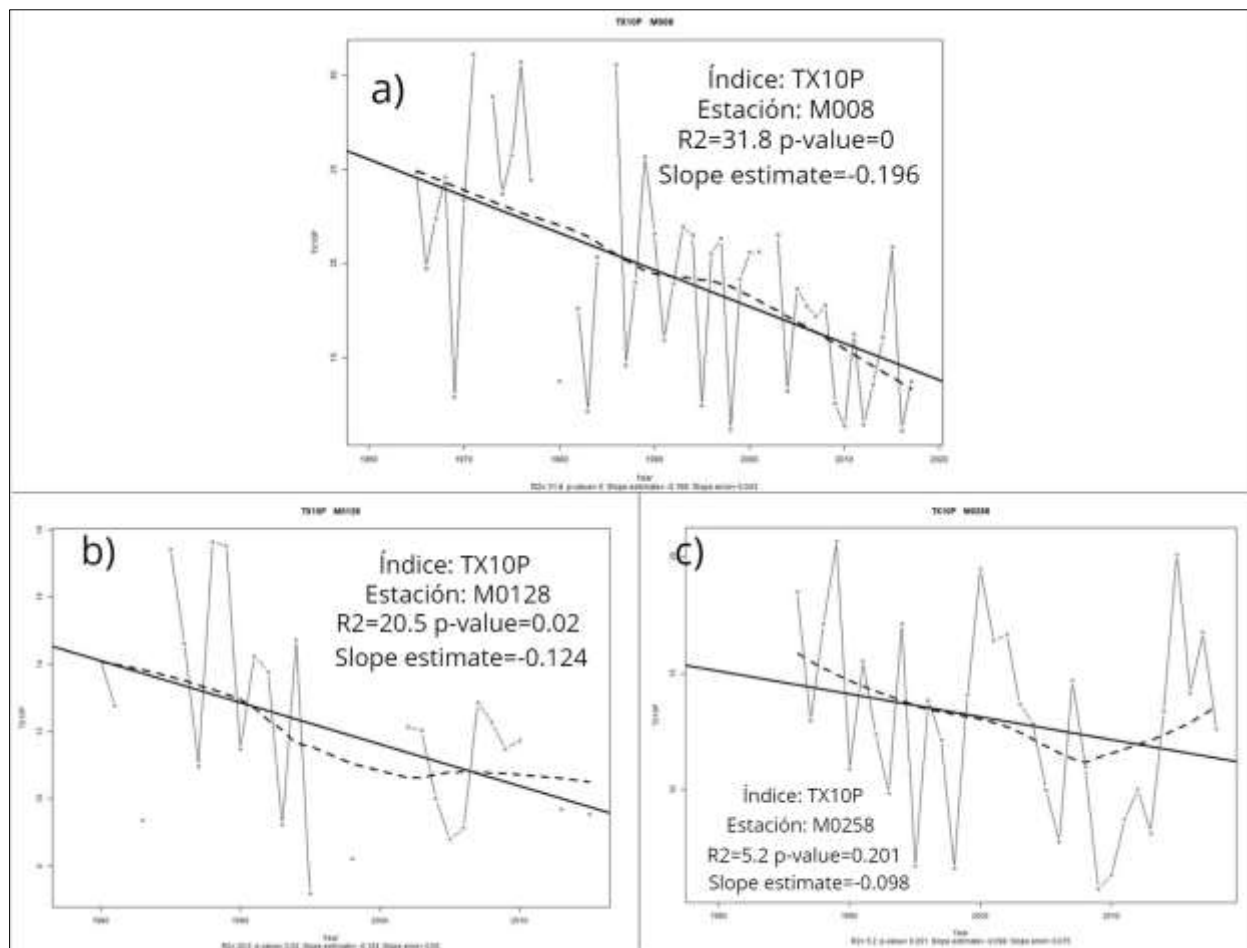
En la Figura 13 (a, b, y c), se muestra el porcentaje de días (mañanas o tardes) cálidos¹ en frecuencia, para la estación M008 se visualiza un p-value = 0, el porcentaje de días que supera este percentil, es totalmente estadísticamente significativa, cada vez hay más días cálidos. En la

¹ El porcentaje de días con mañanas o tardes fríos se vincula al período 6am-6pm, mientras que el porcentaje de noches frías/cálidas se vincula al período 6pm-6am

estación M0128 no se puede describir ya que tiene su data incompleta y finalmente para la estación M0258 se encuentro un p-value de 0.133, donde mediante la gráfica c) se mostró un mínimo 2,75% de días cálidos en 1999 y un 31,6% de días cálidos, así mismo se visualiza una inflexión cerca del 2007, mostrando un calentamiento generalizado y posterior a esta fecha existe un proceso de disminución.

Figura 14

Resultado del índice TX10p de las 3 estaciones (a, b, y c



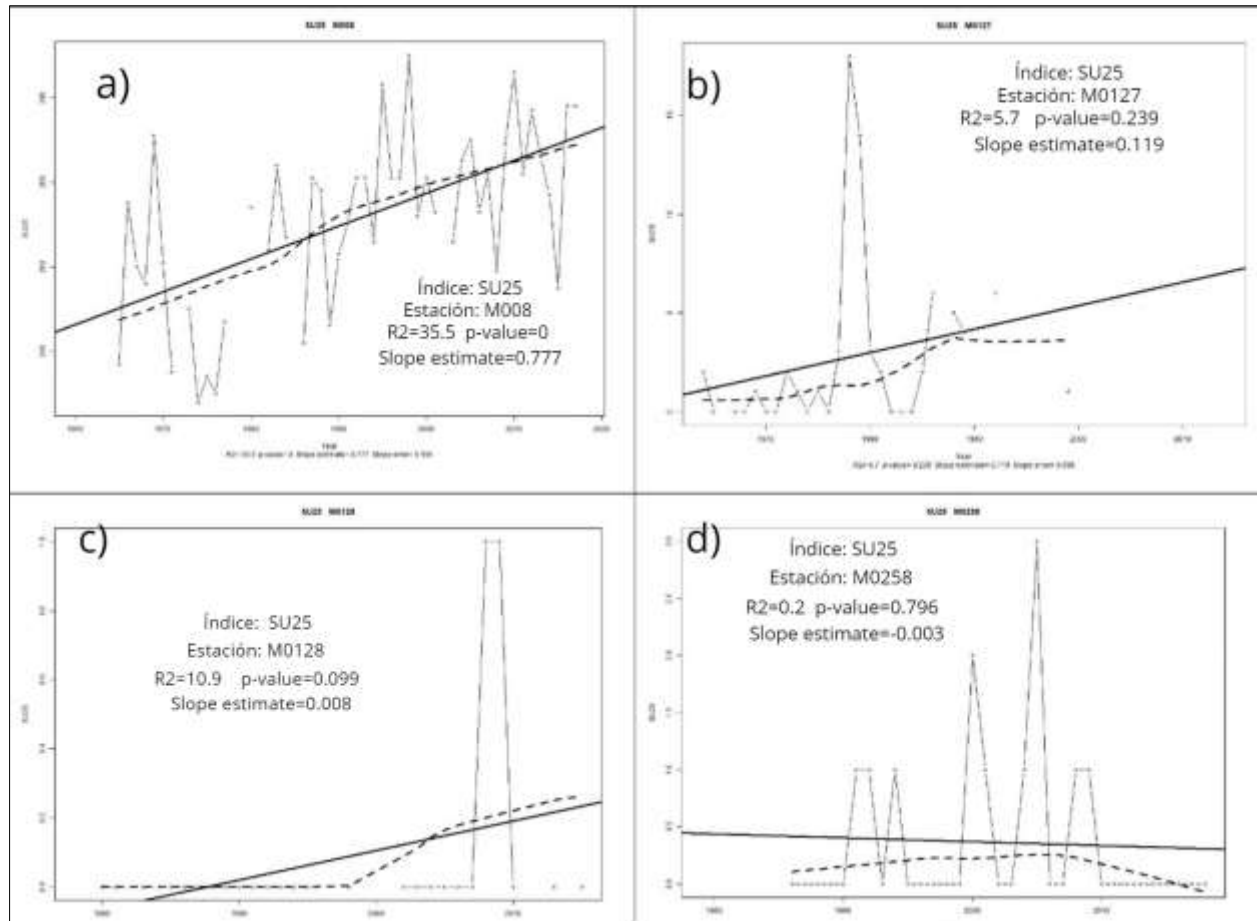
Nota. Porcentaje de días al año cuando la temperatura máxima es menor al percentil 10 (Días fríos)

En la Figura 14 (a, b, y c), el índice TX10p nos permite conocer qué porcentaje de días fríos existentes, en la estación M008 (b) se puede visualizar que antes teníamos un 30% de días fríos, pero actualmente no llega ni al 10% de días frescos al año. En la estación M0128 debido a la falta de datos de temperatura no se realizó el análisis correspondiente, sin embargo, podemos decir que se bajó de un 18% de días fríos al año a un 9%. Y finalmente para la estación M0258 se puede observar que antes teníamos 20% de días fríos, y llegó a un mínimo de 0 días fríos, existe un enfriamiento, pero no es prolongado.

En la Figura 15 (a, b, c, y d), el índice representa los días al año que la temperatura máxima supera los 25 °C, la estación M008 muestra un incremento estadísticamente significativo con un p-value de 0, obteniendo un pico de 300 días que superan esta temperatura y un valor mínimos de 200 (días/año) respectivamente. Para la estación M0127, tenemos un incremento acelerado de las temperaturas mayores de 25°C, se aprecia un p-value de 0,239, de igual forma podemos observar que presenta alrededor de 17 días al año que superan esta temperatura máxima. Para la estación M0128 y M0258 no se puede emitir un criterio, ya que este índice es para zonas tropicales, de manea que estas estaciones no forman parte de la climatología estudiada, sin embargo, en las gráficas c y d, se observa que solo 3 días han superado los 25°C.

Figura 15.

Resultado del índice SU25 de las 4 estaciones (a, b, c, y d)

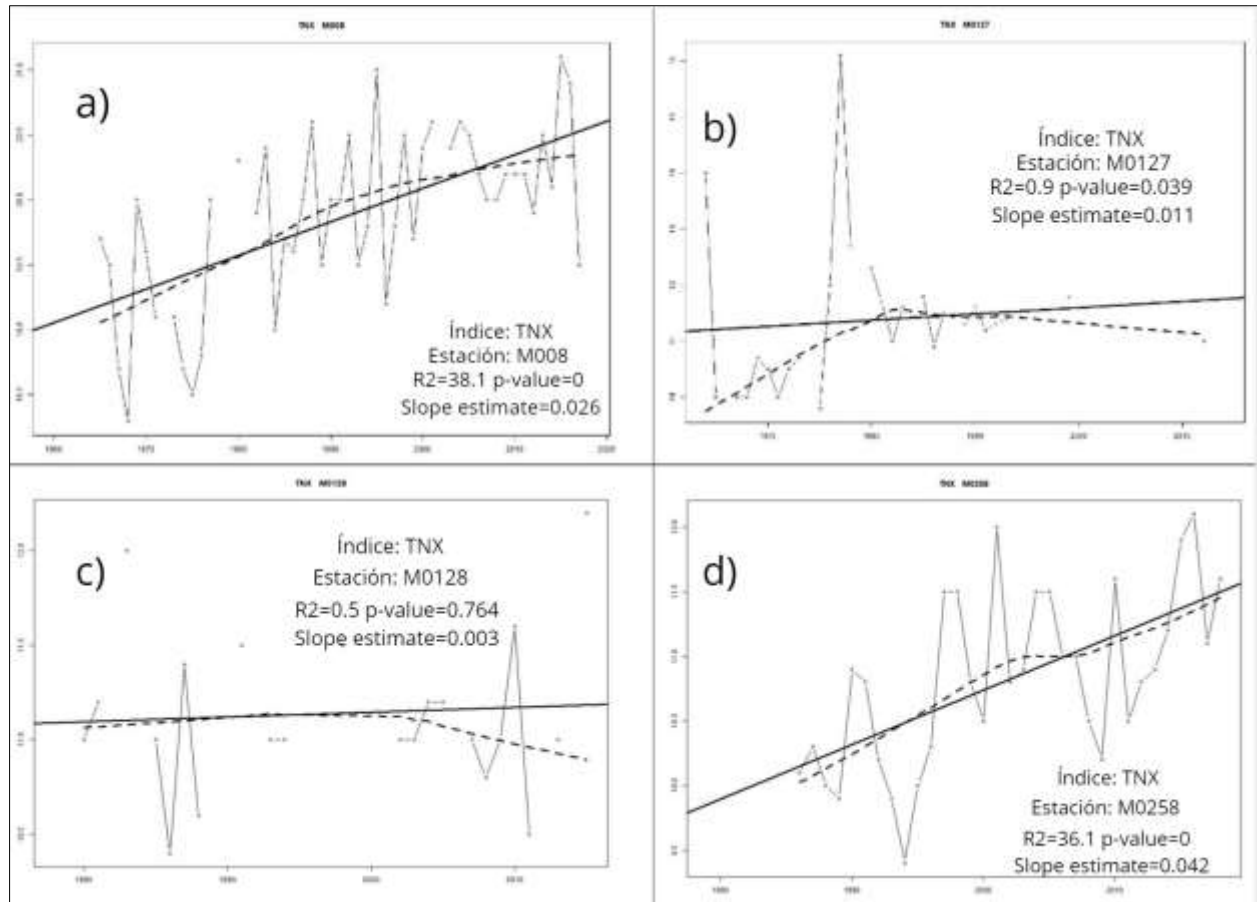


Nota. Número de días en un año cuando TX (máximo diario) es mayor a 25°C (Días de verano) SU25

5.4 Índices de Temperaturas Mínimas

Figura 16.

Resultado del índice máximo de temperatura mínima diaria (TNx)



Nota. Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria (TNx)

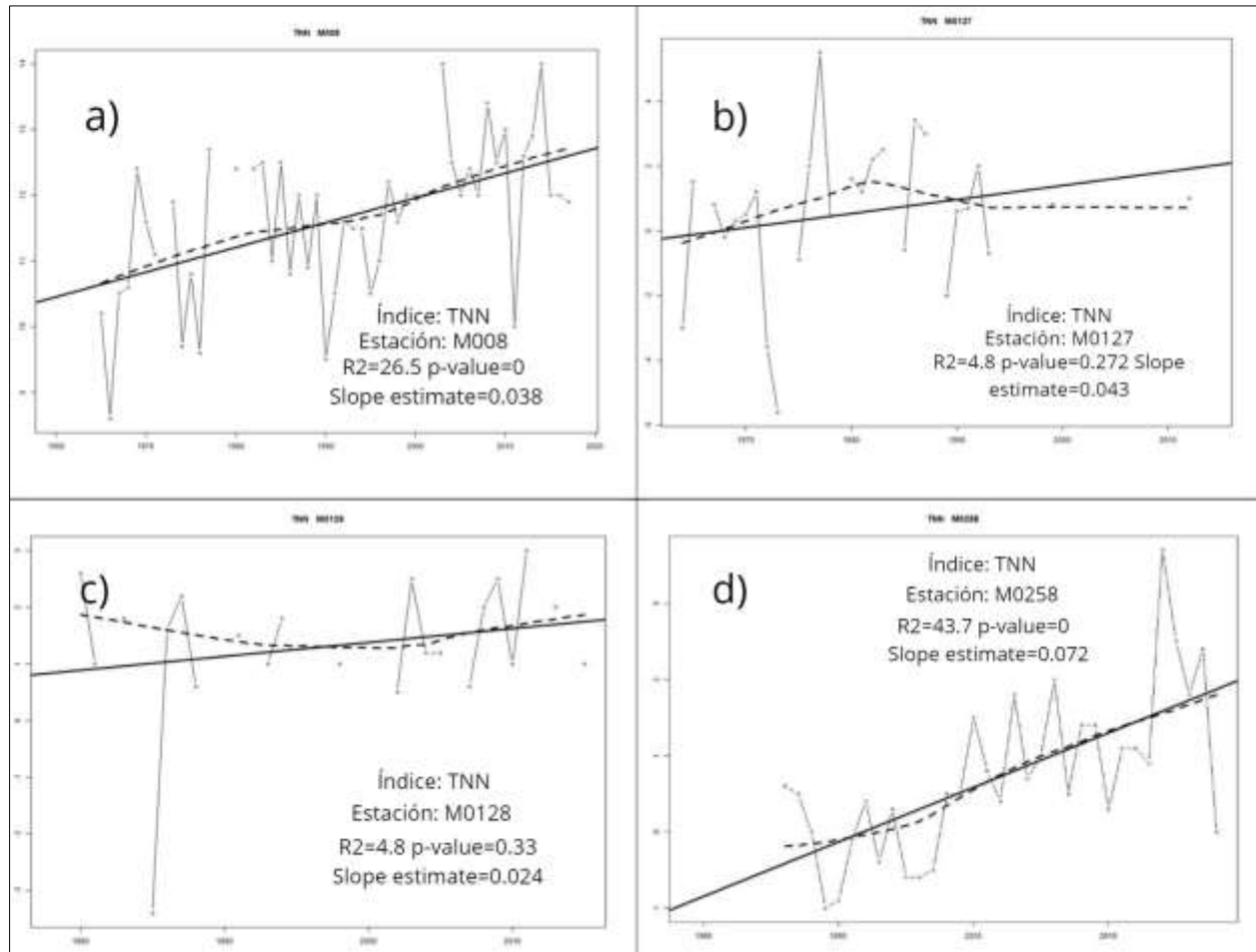
En la Figura 16 (a,b,c,d), el índice TNx indica los valores máximos diarios registrados año a año, de las temperaturas mínimas, es decir, de aquellas registradas en las primeras horas de la mañana y que son un reflejo de las temperaturas nocturnas. En este caso, para la estación M008 se aprecia nuevamente un incremento sostenido de los valores de las temperaturas mínimas en $0.026^{\circ}\text{C/año}$. A principios de 1965, las temperaturas mínimas oscilaban alrededor de los 18°C y

ahora, alrededor de los 20°C. Para esta estación vemos que cada vez hay noches más cálidas, generando problemas en la salud, agricultura, producción pecuaria y otros (Serrano et al, 2012), ya que al tener un día caliente necesitamos una noche fresca para termo regularnos efectivamente, y no caer en un estrés termino. Para la estación M0127 y M0128 vemos un incremento, sin embargo, no podemos asegurar ya que la data está incompleta. Para la estación M0258 se visualiza una temperatura mínima máxima de 13°C y mínima de 9,3 °C, la pendiente es estadísticamente significativa con un p-value de 0. Es importante mencionar que esta estación a diferencia de las temperaturas máximas no se visualiza la inflexión, solo aumenta, ya sea por estar cerca de un área urbana, y/o el efecto isla de calor.

En la Figura 17 (a,b,c,d), el índice está indicado muestra el valor de intensidad mensual mínimo de temperatura mínima diaria, usualmente son los valores registrados en las primeras horas de la madrugada. En la estación M008 se muestra un incremento en las temperaturas mínimas de 0.038°C al año, con un p-value de 0, lo que indica que es totalmente estadísticamente significativa, de manera que según la pendiente, las temperaturas están aumentando, este fenómeno es congruente con las previsiones de cambio climático (aumento de temperaturas) y el efecto de la isla de calor urbana (Serrano, et al., 2017), especialmente por la capacidad calorífica del asfalto, la misma que es liberada en la noche, ya que según las coordenadas de la tabla 1, sabemos que esta estación se encuentra en una zona urbana. Para la estación M0127 y M0128 no se observa tendencia alguna en la serie histórica y las proyecciones futuras presentan gran incertidumbre por la falta de data. En cambio, para la estación M0258 ha incrementado la temperatura mínima, obteniendo un pico de 4°C y un valor mínimo de -1°C al año, es estadísticamente significativa y presenta un p-value de 0, lo quiere decir que aumenta 0.072°C por cada 10 años.

Figura 17.

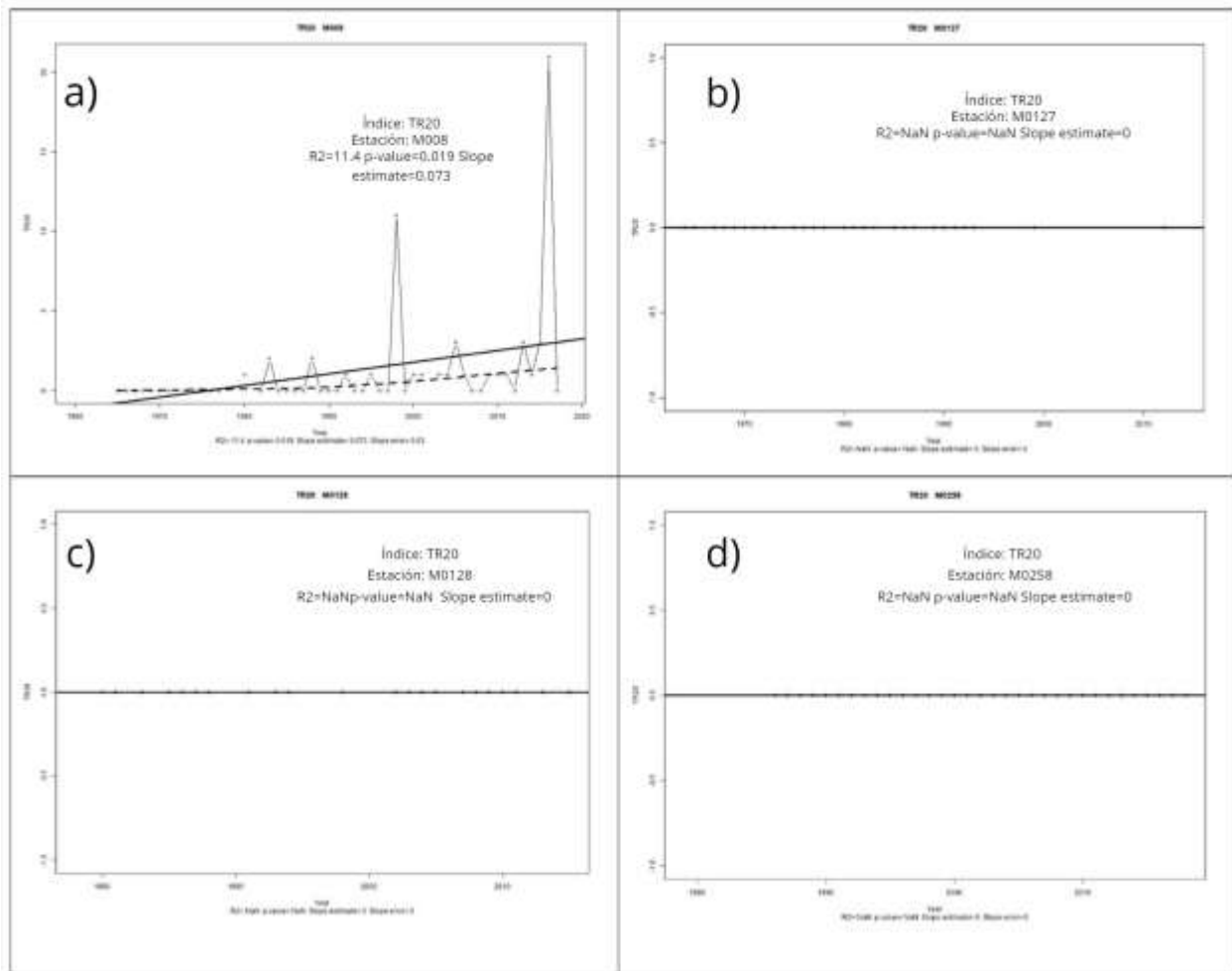
Resultado del índice TNN de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria (TNn)

Figura 18.

Resultado del índice TR20 de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



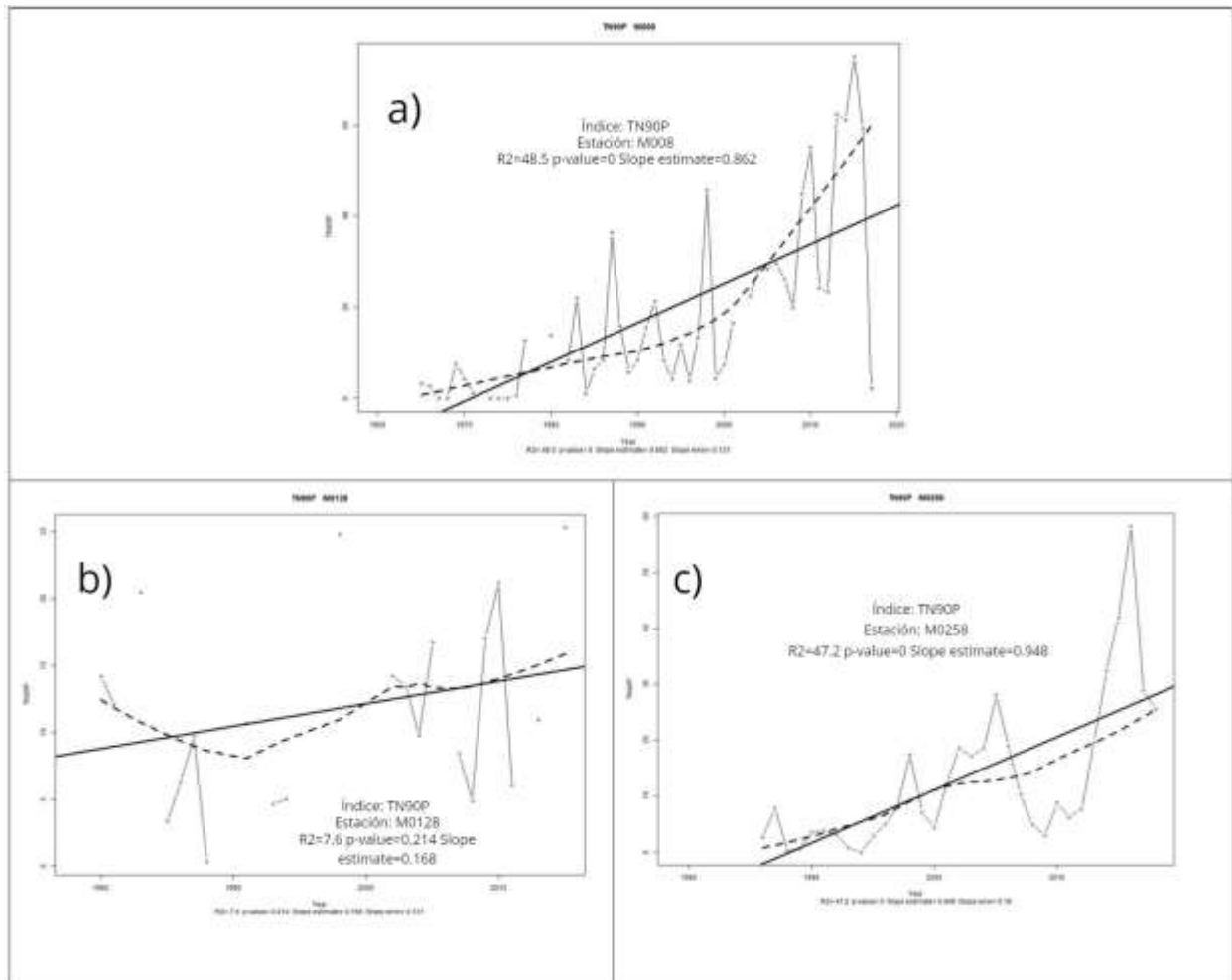
Nota. Noches tropicales, número de días en un año en que la temperatura mínima supero los 20°C

En la Figura 18 (a,b,c,d), el índice de TR20 o Noches Tropicales, cuenta el número de días año en que la temperatura mínima superó los 20°C, Para la estación M008 es muy interesante ver como sólo después de la era industrial se registran esporádicamente noches tropicales, pero en 2019 se registraron 20 noches. La significancia es alta ($p=0.019$) y la pendiente de 0.073 noches/año, pero en realidad se aprecia que la tendencia lineal no es adecuada por que el crecimiento es mucho más

rápido. Sin embargo, para las otras estaciones por nuestras características climatológicas no se calculó este índice. Para las gráficas a, b, y c no hay suficientes datos disponibles.

Figura 19.

Resultado del índice TN90p de las 3 estaciones (a, b, y c)



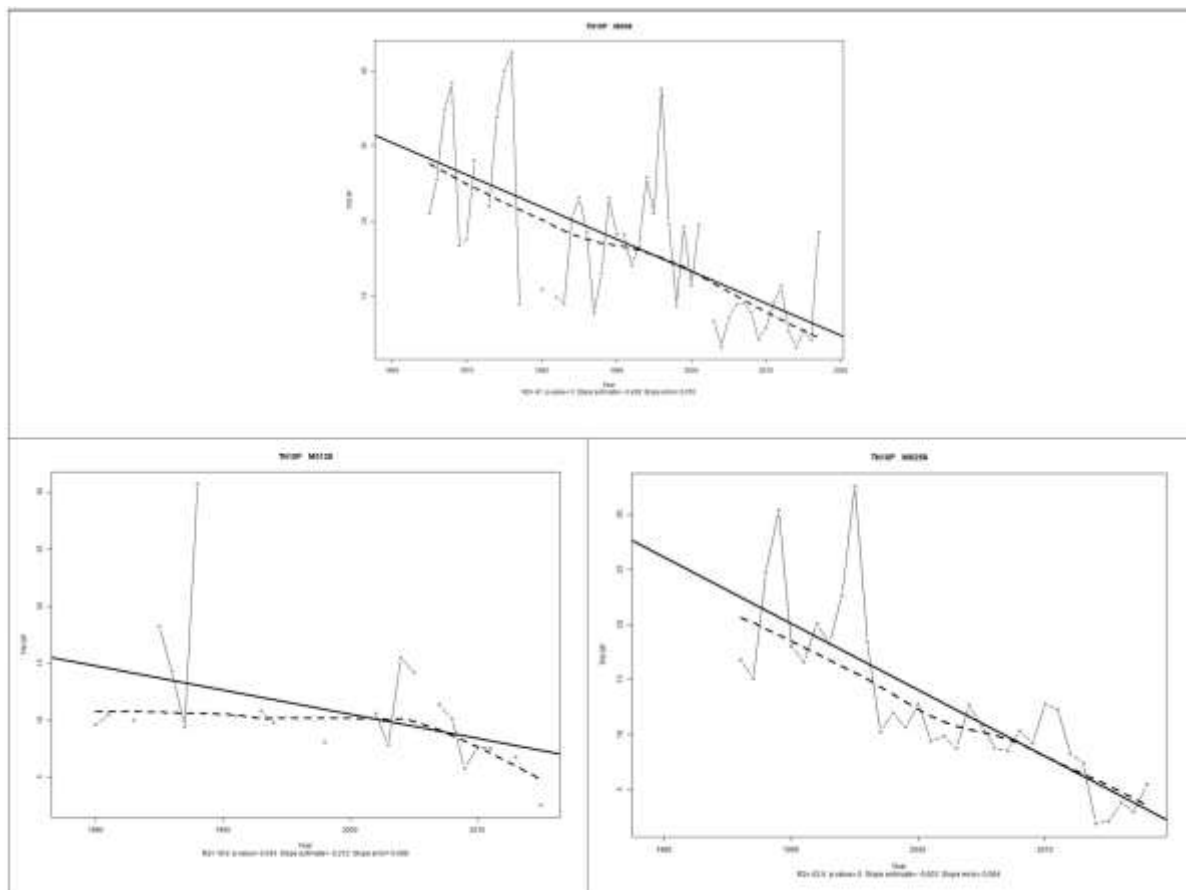
Nota. Noches cálidas: días cuando la temperatura mínima pasa el percentil 90

En la Figura 19 (a, b, y c), el índice TN90P indica la frecuencia de noches cálidas, es el porcentaje de noches en los que la temperatura mínima supera el percentil 90. Para la estación

M008, se ve un crecimiento muy acelerado en los últimos años. La significancia es muy alta ($p=0$) y la pendiente de 0.862 % de noches/año, se aprecia un pico de 70% noches/ año por el año 2017. La estación M0128 está bastante incompleta, sin embargo, se puede decir que hay un crecimiento en el porcentaje de temperaturas mínimas que sobrepasan el percentil 90 y finalmente la estación M0258 vemos que está un incremento en la frecuencia, quiere decir que al inicio tenemos 0 días y alrededor del 2015 hubo 60 días que superaron este percentil.

Figura 20.

Resultado del índice TN10p de las 3 estaciones (a, b, y c)



Nota. Noches frías: Días cuando la temperatura mínima es menor al percentil 10

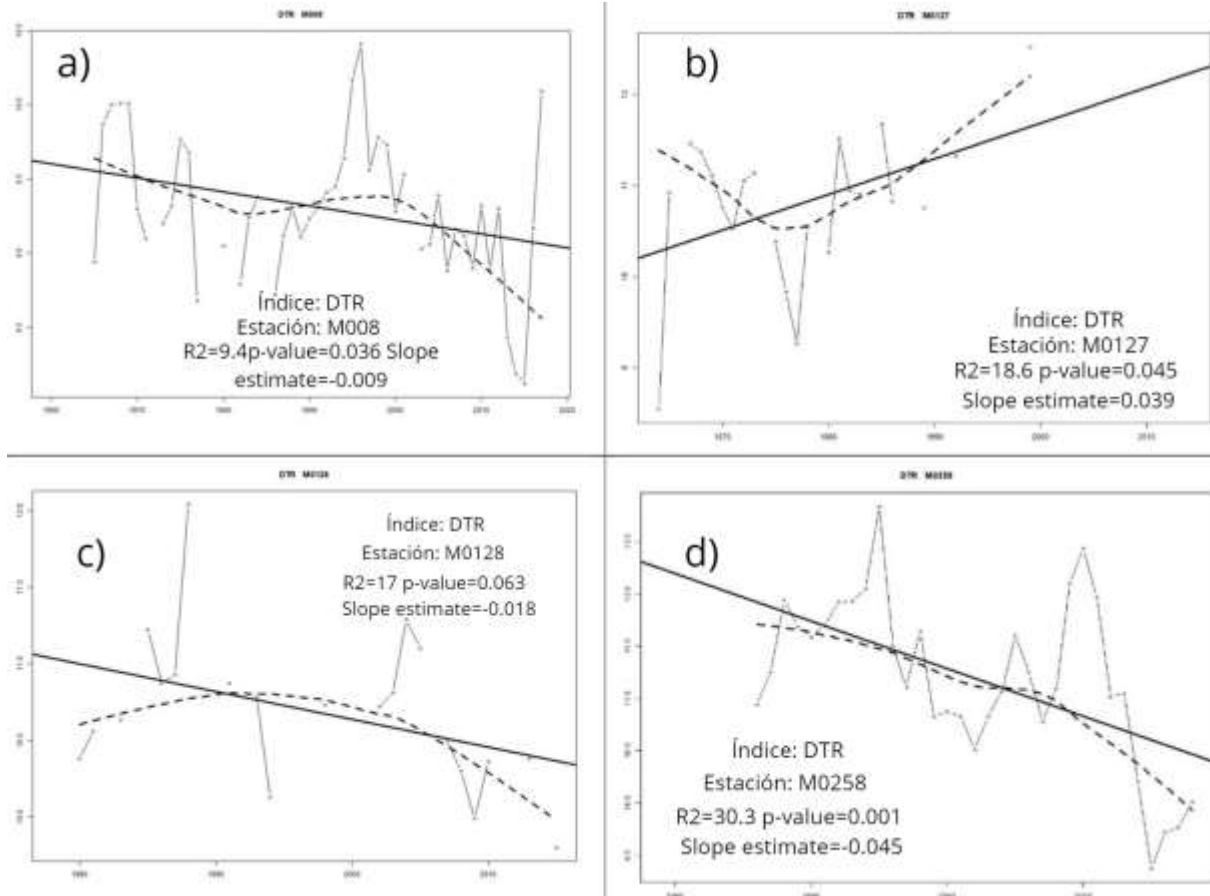
En la Figura 20 (a, b, y c), el índice TN10P o Frecuencia de noches frías indica qué tan frecuentes son las noches en las que su temperatura es menor al percentil 10. Para la estación M008 vemos una disminución totalmente marcada, de alrededor del 30% a inicios de la serie hasta menos del 5% al final de la misma, se aprecia una significancia muy alta ($p=0$), y pendiente de -0.429% noches/año. Cada vez las noches frías van disminuyendo de manera estadísticamente significativa. Para la estación M0128 no se observa tendencia alguna en la serie histórica y las proyecciones futuras presentan gran incertidumbre por que está incompleta y/o cortada.

Finalmente, para la estación M0258 vemos una disminución totalmente marcada, de alrededor del 27% a inicios de la serie hasta menos del 4% al final de la misma, se aprecia una significancia muy alta ($p=0$), y pendiente de -0.603% noches/año. Cada vez las noches frías van disminuyendo de manera estadísticamente significativa.

En la Figura 21 (a, b, c, y d), el índice DTR, representa el promedio de la diferencia entre temperaturas máximas y mínimas. Para la estación M008 se visualiza un decremento de rango, debido al incremento más rápido de las temperaturas mínimas, es estadísticamente significativo y posee un p-value de 0.036. La estación M0127 presenta una tendencia positiva, con significancia estadística alta y un p-value de 0.045. La estación M0128 está bastante incompleta, presenta una tendencia negativa en la serie histórica y las proyecciones futuras presentan gran incertidumbre. Finalmente, la estación M0258 presenta un decremento en la cantidad de precipitación, es estadísticamente significativa p-value de 0.001.

Figura 21.

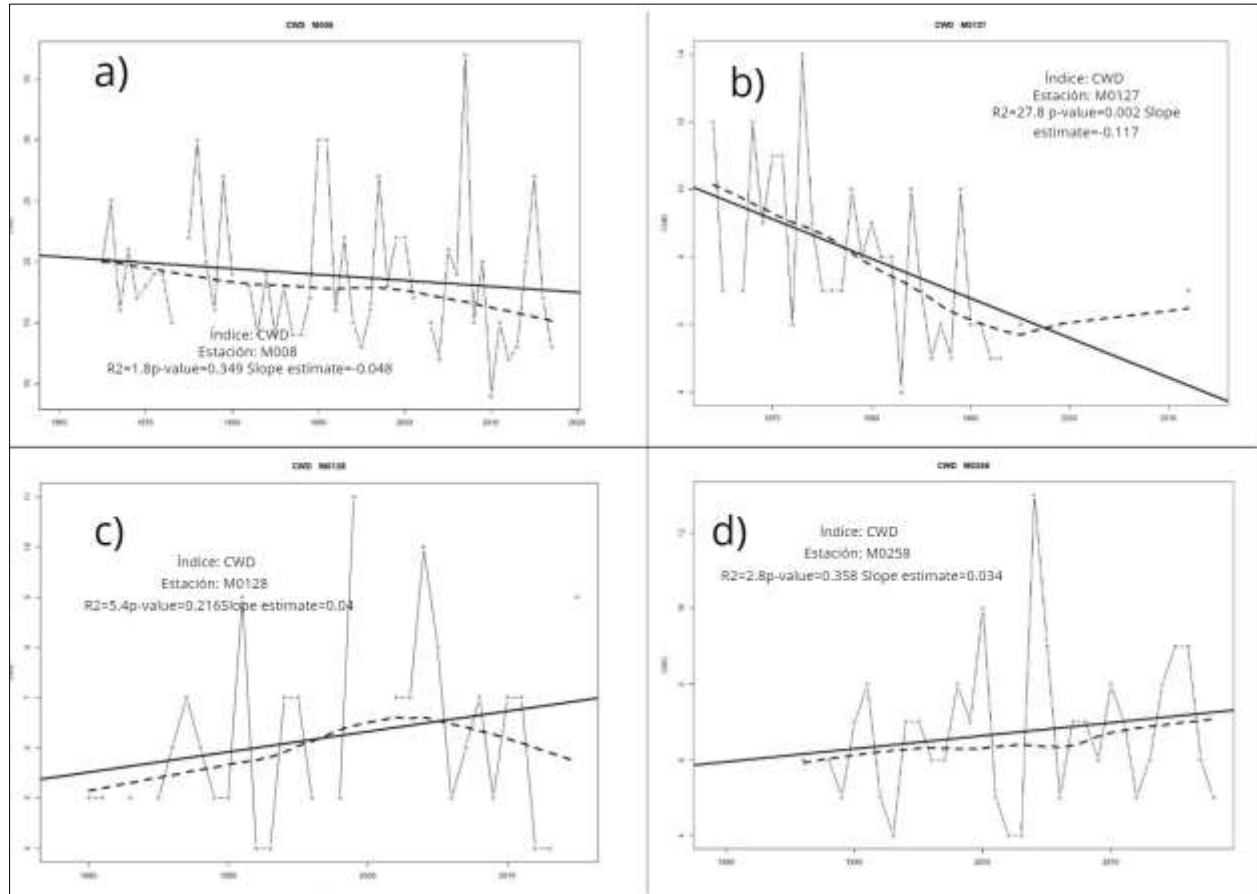
Resultado del índice DTR de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Rango Diurno de temperatura Tx-Tn [°C/año] (DTR)

Figura 22.

Resultado del índice CWD de las 4 estaciones



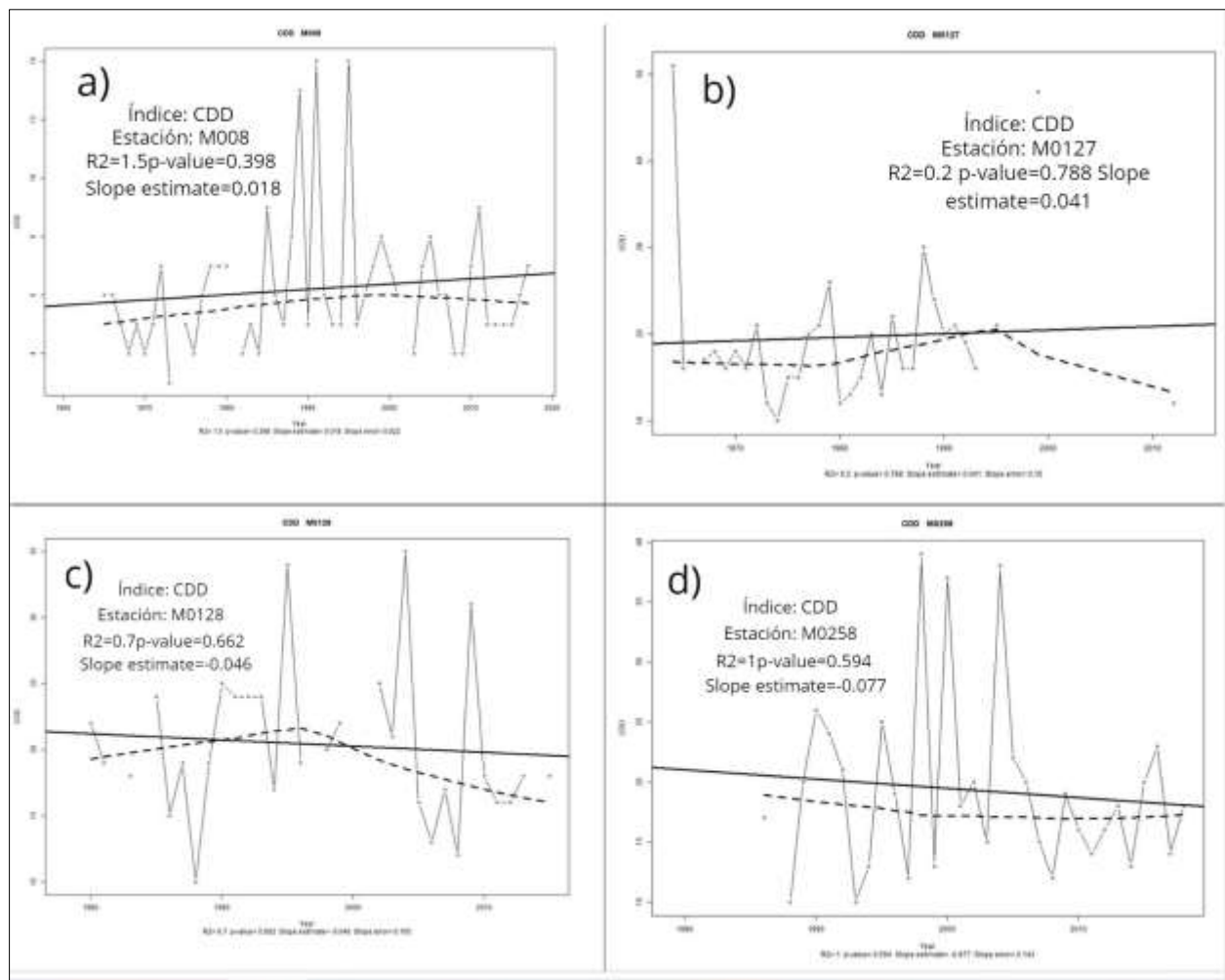
Nota. Número de días húmedos consecutivos (CWD)

En la Figura 22 (a,b,c,y d), se aprecia el índice CWD, días húmedos consecutivos, cuenta el número de días consecutivos con lluvia al año, para la estación M008 se aprecia una ligera disminución -0.048 días/ año, pero poca significativa (p-value de 0.349) , presenta un pico de 36 días consecutivos de lluvias por el año 2007. Para la estación M0127 se evidencia un decremento -0.117 días consecutivos con lluvias al año, estadísticamente significativa, con un p-value de 0.002, se evidencia un máximo de 14 días máximo de precipitaciones por el año 1973. Para la estación M0128 se evidencia un ligero incremento 0.04 días consecutivos con lluvias al año,

estadísticamente significativa, con un p-value de 0.216, alcanzando 11 días máximos consecutivos por el año 2000. Finalmente, para la estación M0258 se aprecia un incremento de 0.034 días húmedos consecutivos, sin significancia estadista (p-value de 0.358), esta se puede ver afecta por el máximo de 12 días alrededor del año 2005, y el mínimo de 4 por el año 2002. Estas gráficas muestran como las tendencias del oriente son diferentes a los de la sierra.

Figura 23.

Resultado del índice CDD de las 4 estaciones



Nota. Días secos consecutivos [día/año] (CDD)

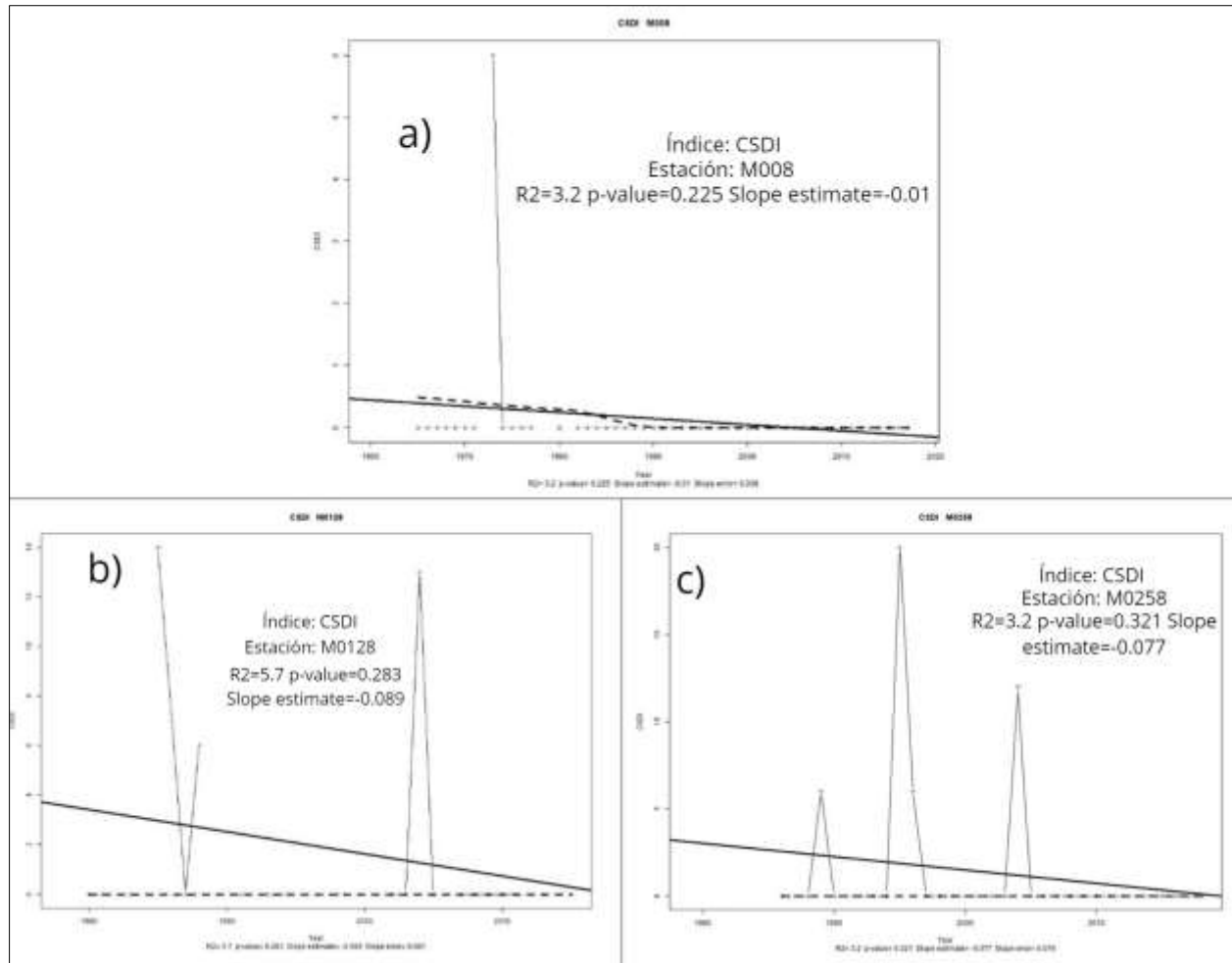
En la Figura 23 (a,b,c,d), Este índice representa los días secos consecutivos, para las estaciones M008 y M0127 se aprecia un ligero crecimiento de 0.018 y 0.041 días consecutivos secos al año respectivamente, las mismas que no tienen significancia estadística (0.398 y 0.788 respectivamente, para la estación a, se puede observar un máximo de 14 días secos consecutivos. La estación M0128 presenta una oscilación, no es estadísticamente significativa, con un p-value de 0.662 y finalmente, la estación M0258 presenta un decremento en la cantidad de días secos consecutivos, el máximo fue 40 días, es estadísticamente significativa p-value de 0.26.

En la Figura 24 (a, b, y c), el índice representa cuantas olas de frío ha experimentado cada estación. En la estación M008 se presenta solo una ola de frío de 6°C. Para la estación M0128 se observó 5 eventos de olas de frío, presenta una tendencia decreciente de -0.089 con un p-value de 0.283. Finalmente, la estación M0258 presenta un decremento de 0.077 en eventos de olas de frío, no es estadísticamente significativa ya que presenta un p-value de 0.321.

En la Figura 25 (a, b, y c), se presenta el conteo anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima supero el percentil 90. En la gráfica a, b, c, y c se parecía un incremento de días que superen este percentil, de igual forma su significancia es baja ya que presentan un p-value de 0.668, 0.8 y 0.501.

Figura 24.

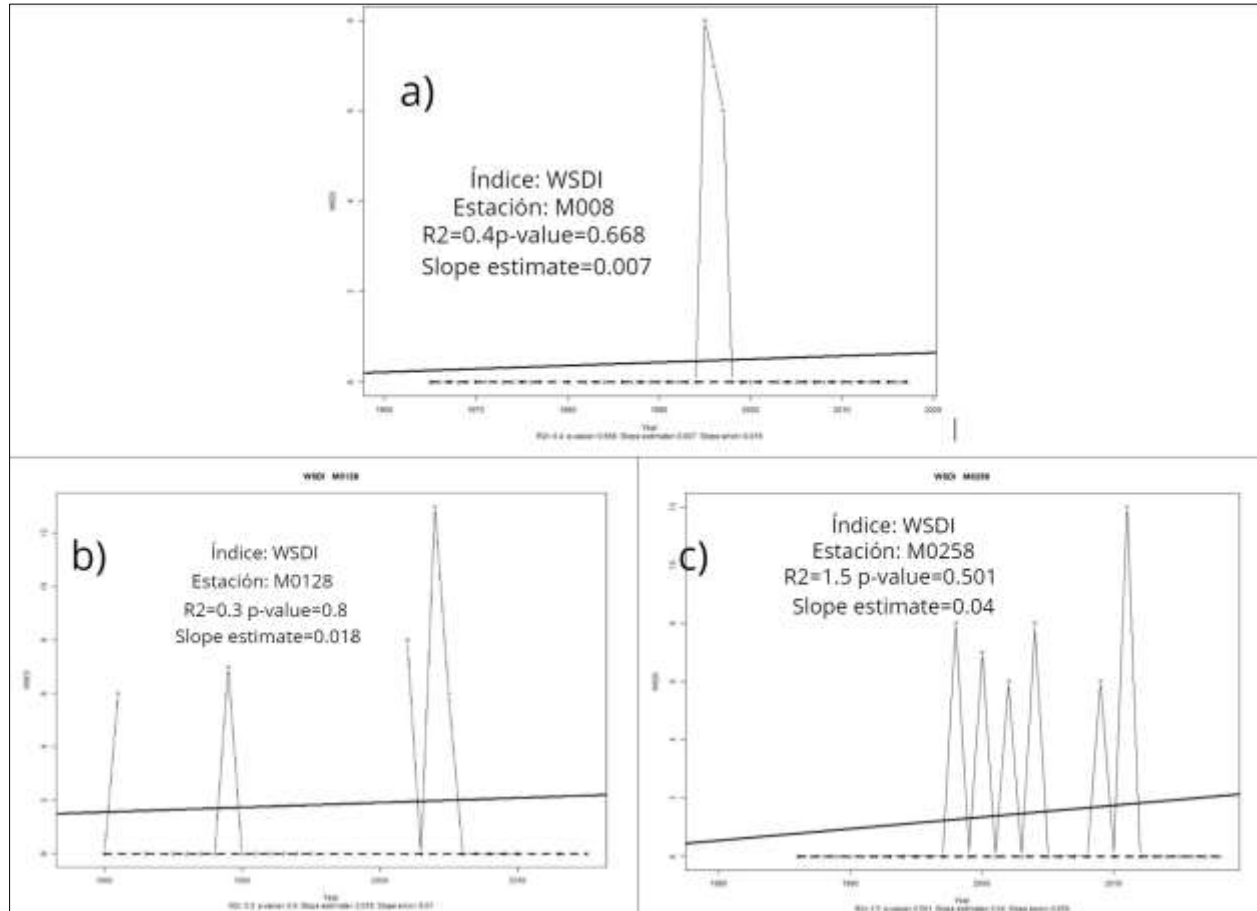
Resultado del índice CSDI de las 3 estaciones



Nota. Indicador de la duración de periodos fríos (CSDI) [día/año]

Figura 25.

Resultado del índice WSDI de las 3 estaciones (a, b, y c)



Nota. Indicador de la duración de periodos calientes [día/año] (WSDI)

A continuación, se presenta una tabla resumen de los comportamientos presentados. Los valores más significativos ($p\text{-value} \rightarrow 0$) están representados por **, mientras que los muy significativos ($p < 0.1$) se presentan con *.

Tabla 11.

Índices de cambio climáticos recomendados por la ETCCI basados en la temperatura para las 4 estaciones.

Índice	M008 (Puyo)	M0127 (Pillaro)	M0128 (Pedro Fermin)	M0258 (Querochaca)
Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria [°C] (TXx)	0.022**	0.041	0.048*	0.01
p- value (Intensidad)	0	0.227	0.049	0.521
Valor mensual mínimo de la temperatura máxima diaria [°C] (TXN)	0.024*	0.029	0.031*	0.018
p- value	0.026	0.328	0.136	0.255
Días cálidos: días con temperatura máxima sobre el percentil 90 [%] (TX90P)	0.4**	0	0.02	0.21*
p- value	0	NaN	0.818	0.133
Días fríos: Días con temperatura máxima menor al percentil 10 [%] (TX10P)	-0,198**	0	-0.124*	-0.098
p- value (Intensidad)	0	NaN	0.02	0.201
Días Tropicales (Tx>25°) [día] SU25	0.777**	0.119	0.009*	-0.003
p- value (Frecuencia)	0	0.239	0.099	0.798
Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria [°C] (TNx)	0,026*	0.011	0.003	0.042
p- value	0	0.639	0.764	0
Noches tropicales: número de días en un año en que la temperatura mínima supero los 20 °C [día] (TR20)	0.073*	0	0	0
p- value	0.019	NaN	NaN	NaN
Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria. [°C] (TNn)	0.038**	0.043	0.024	0.072**
p- value (Intensidad-Aumento en la T, efecto isla de calor)	0	0.272	0.33	0
Noches cálidas: días cuando la temperatura mínima pasa el percentil 90 [%] (TN90P)	0,862**	-	0.168*	0.948**
p- value	0	-	0.214	0
Noches frías: Días cuando la temperatura mínima es menor al percentil 10 [%] (TN10P)	-0.429**	-	-0.212*	-0.603**
p- value	0	-	0.043	0
Rango Diurno de temperatura Tx-Tn [°C/año] (DTR)	-0.009*	0.039*	-0.018*	-0.045*
p- value	0.036	0.045	0.063	0.001
Días húmedos consecutivos [día/año] (CWD)	-0.048	-0.117*	0.04*	0.034
p- value (Frecuencia _Inundaciones)	0.349	0.002	0.216	0.358
Días secos consecutivos [día/año] (CDD)	0,018	0.041	-0.046	-0.077
p- value	0.398	0.788	0.662	0.594
indicador de la duración de periodos fríos (CSDI) [día/año]	-0.01	-	-0.089	-0.077
p- value	0.225	-	0.283	0.321

Índice	M008 (Puyo)	M0127 (Pillaro)	M0128 (Pedro Fermin)	M0258 (Querochaca)
Indicador de la duración de periodos calientes [día/año] (WSDI)	0.007 0.668	- -	0.018 0.8	0.04 0.501
p- value				

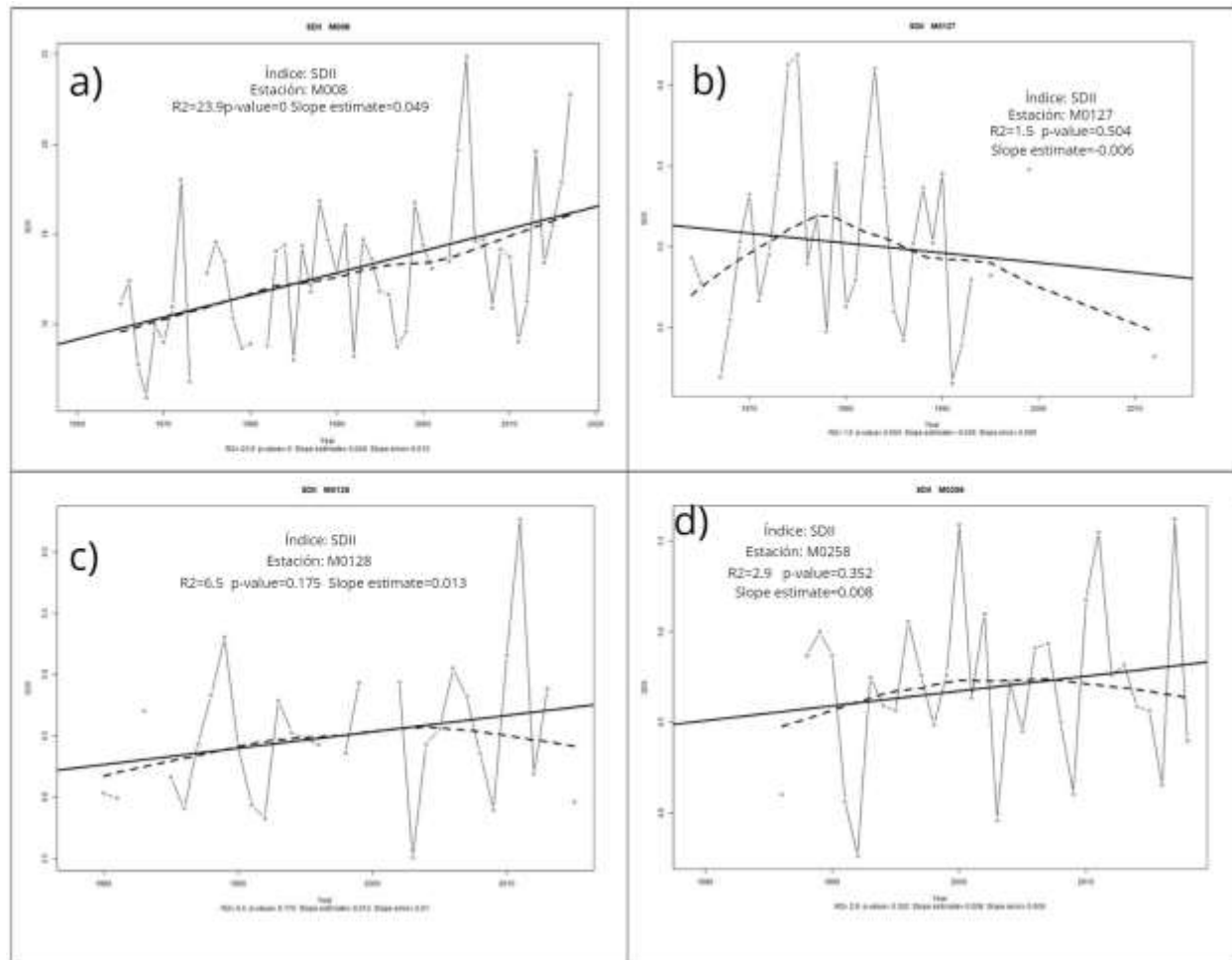
Nota. N/A: datos insuficientes para calcular dichos índices/ **Representa alta significancia estadística, *Representa significancia estadística. Elaboración: Jessica Guamán, agosto 2020

Los datos obtenidos concuerdan con Noboa et al., (2012), en el cual mencionan que el aumento de temperatura será diferente por regiones, lo que quiere decir que la Sierra andina (Ambato) sufrirá menos variación en la temperatura mientras que la región Amazónica registra mayores variaciones en escenarios de cambio climático. Y si hablamos de volumen en rendimiento de cultivos según los resultados de Zhindon-Pacheco (2017), la correlación negativa entre el rendimiento y temperatura, varían entre -0.41 a -0.70, lo que quiere decir que disminuye el rendimiento de los cultivos.

5.5 Índices de precipitación

Figura 26 .

Resultado del índice SDII de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



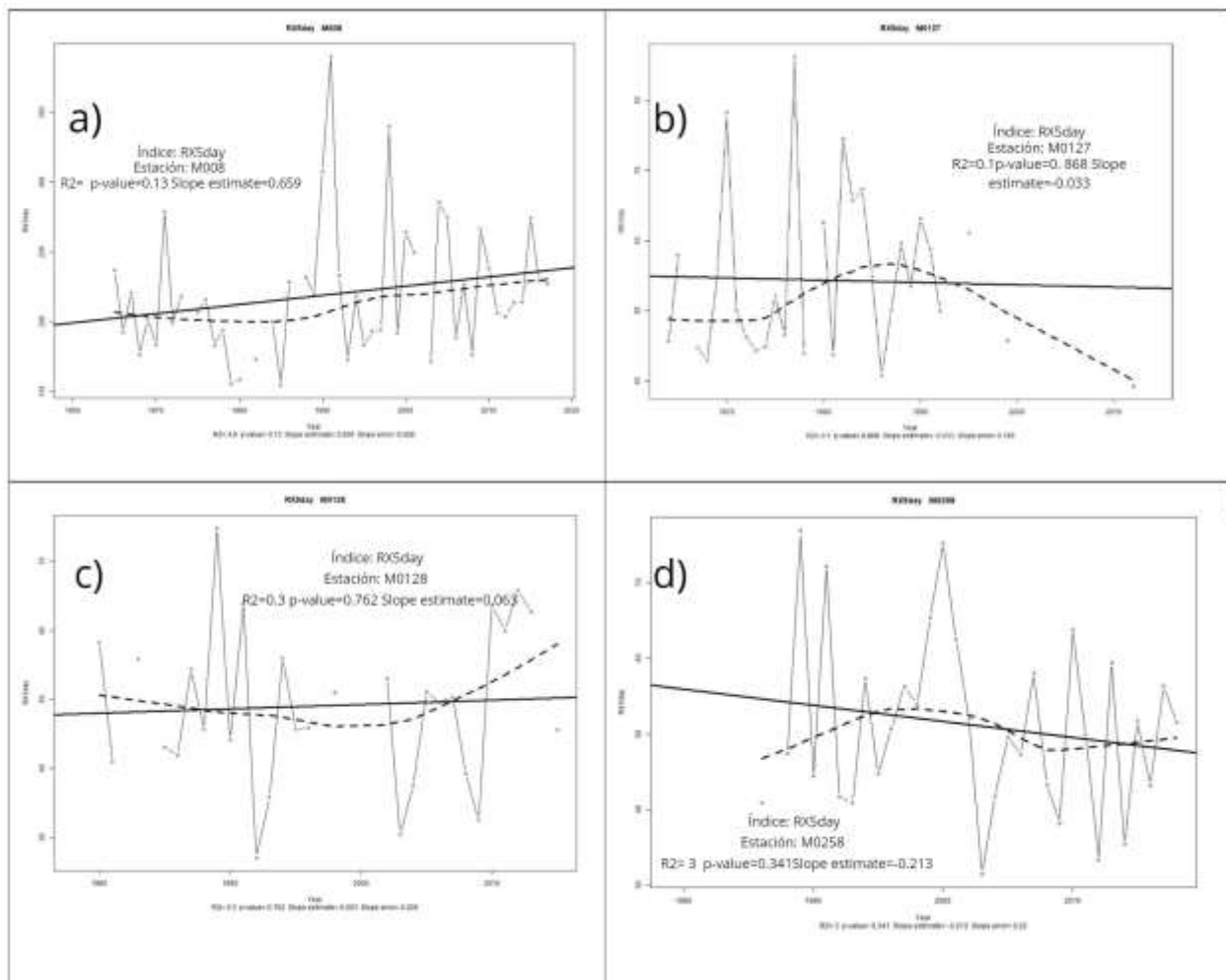
Nota. Índice de intensidad diaria SDII (mm/día) margen 2,5 por cada lado

En la Figura 26 (a, b, c, y d), el índice se define como la precipitación total dividida para el número de días húmedos (precipitación mayor a 1 mm) en un año. En la estación M008 se aprecia un incremento sostenido, de 0.049mm/día/año, con alta significancia estadística $p=0$, quiere decir que llueve más cantidad de agua liberada por la atmosfera, antes era un 14.7

mm/día/año y luego 22mm por día. Para la estación M0127 mostro un decremento de precipitación de -0,006, estadísticamente significativa con un p-value de 0.175. Para la estación M0128 y M0258 se aprecia un incremento de 0.175 y 0.352 respectivamente, alcanzando alrededor de 5.5mm/días/año.

Figura 27.

Resultado del índice RX5Day de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Cantidad máxima de precipitación en 5 días consecutivos (mm/año) Rx5day

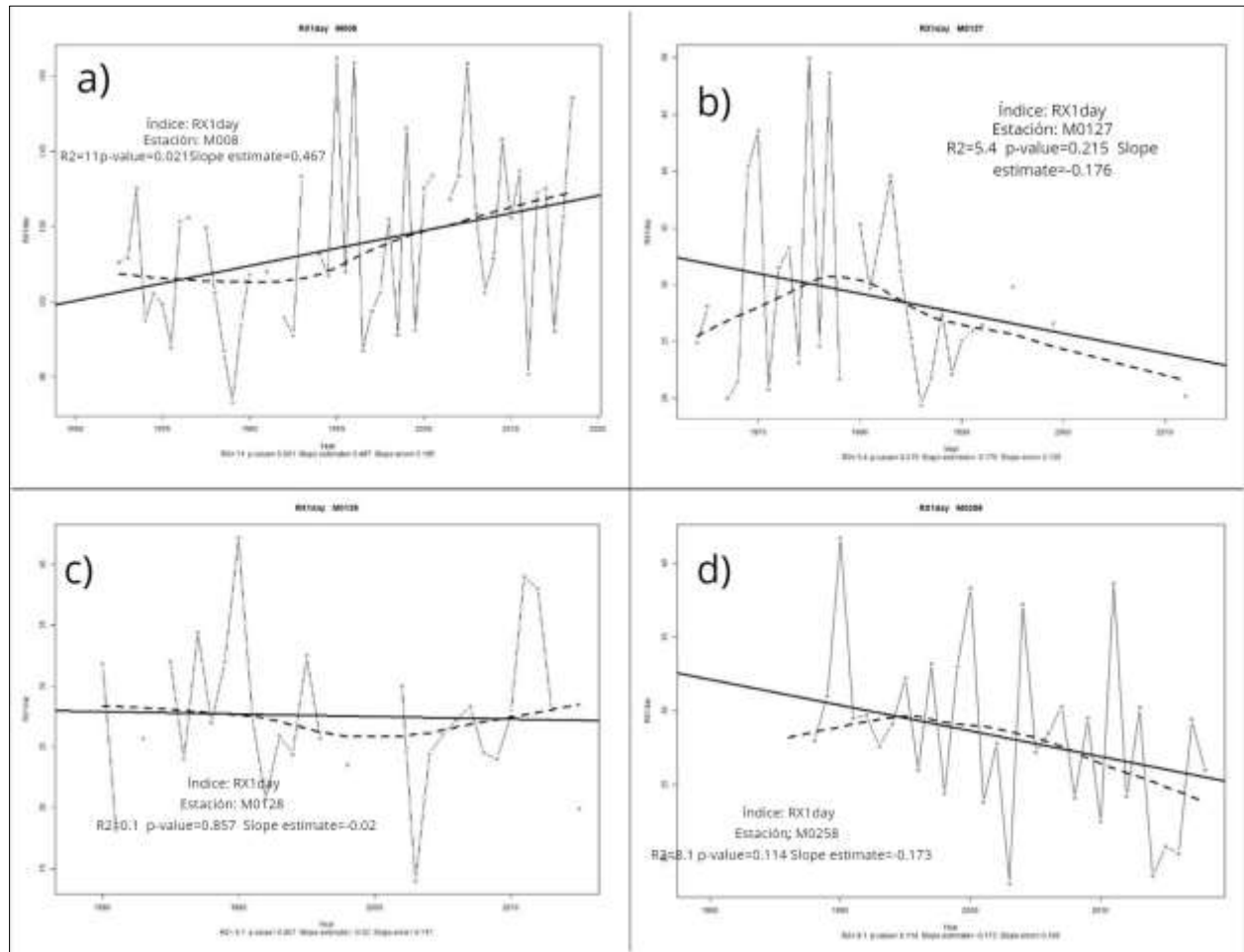
En la Figura 27 (a, b, c, y d), se presenta un indicador que se relaciona mucho con pérdida de cultivos, abarca inundaciones y / o avalanchas; ya que, según los reportes de la SNGR, las inundaciones se producen por precipitaciones que difícilmente superan las 24 horas de duración (SNGR, 2012).

En la estación M008 se presenta una pendiente positiva de 0,65mm/año con un p-value de 0,13, estadísticamente significativa, en otras palabras, quiere decir que llueve mucho y de manera seguida. Por otro lado, la cantidad máxima de precipitación es más de 350 (mm/año). Para la estación M0127 y M0128 no presentan ninguna tendencia, es decir que en la zona de la sierra existen menos precipitaciones que duren más de 5 días respecto a la estación M008, presentan p-value de 0.868 y 0.762 respectivamente. Mientras que la estación M0258 la cual muestra una ligera tendencia de disminución de 5 días consecutivos de lluvia en la región sierra con un p-value de 0.341 de manera que no es estadísticamente significativo.

En la Figura 28 (a,b,c,d), se visualiza la cantidad máxima de precipitación registrada en 1 día, este indicador es importante ya que está relacionado con las inundaciones. Según la SNGR (2012), menciona que las inundaciones se generan por precipitaciones que difícilmente superan las 24 horas de duración. La estación M008 presenta una tendencia positiva estadísticamente significativa con un p-value de 0.021. Aumenta a razón de 0.467mm/mes. La estación M0127 presentan una tendencia negativa estadísticamente significativa con un p-value de 0.2. La estación M0128 no existe ninguna tendencia y no mostró significancia estadística por su falta de datos. y finalmente, la estación M0258 presenta un decremento en la cantidad de precipitación, siendo estadísticamente significativa p-value de 0.114.

Figura 28.

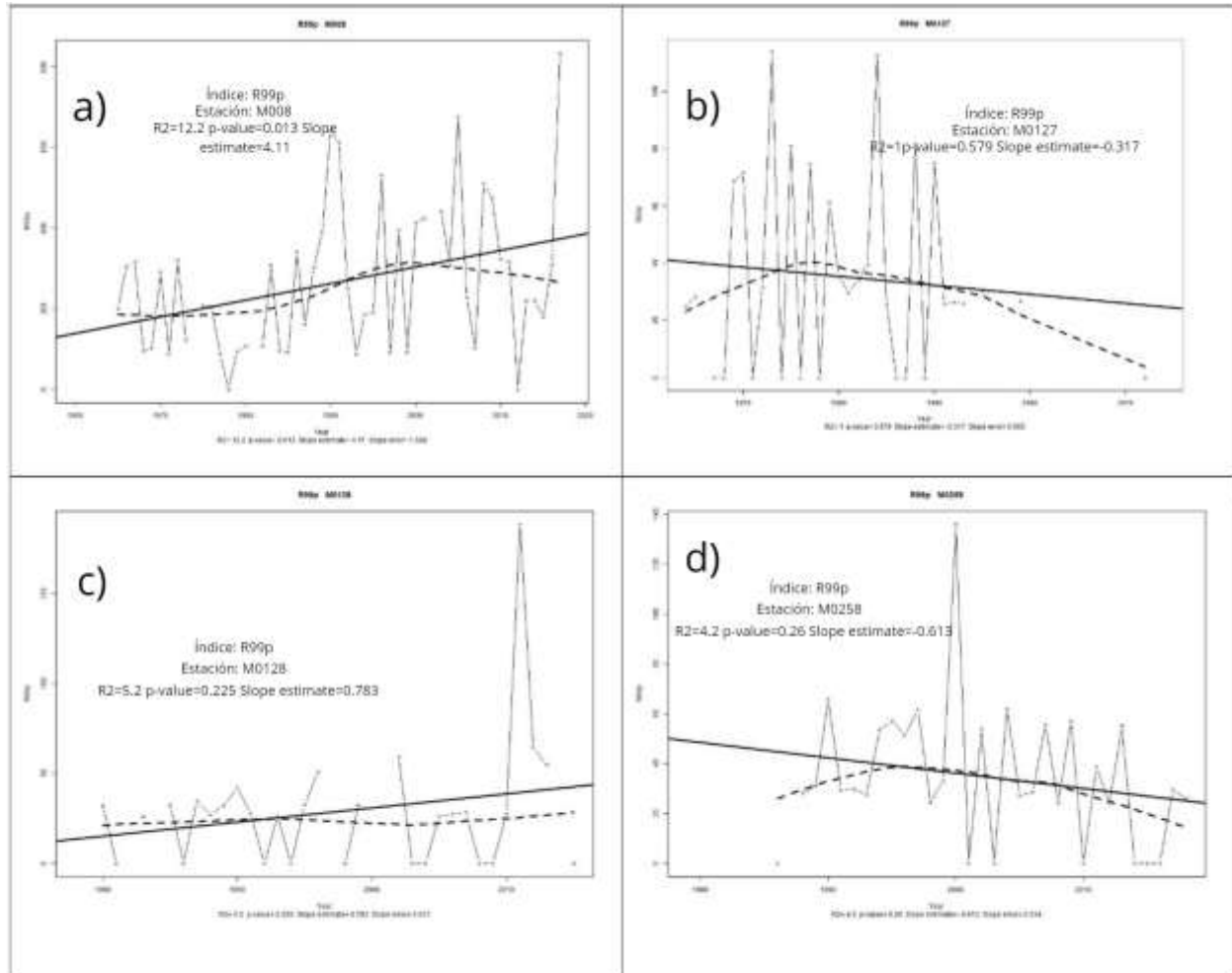
Resultado del índice RX1Day de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Cantidad Máxima de precipitación en un día [mm/Día] (RX1D) (Intensidad)

Figura 29.

Resultado del índice R99p de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



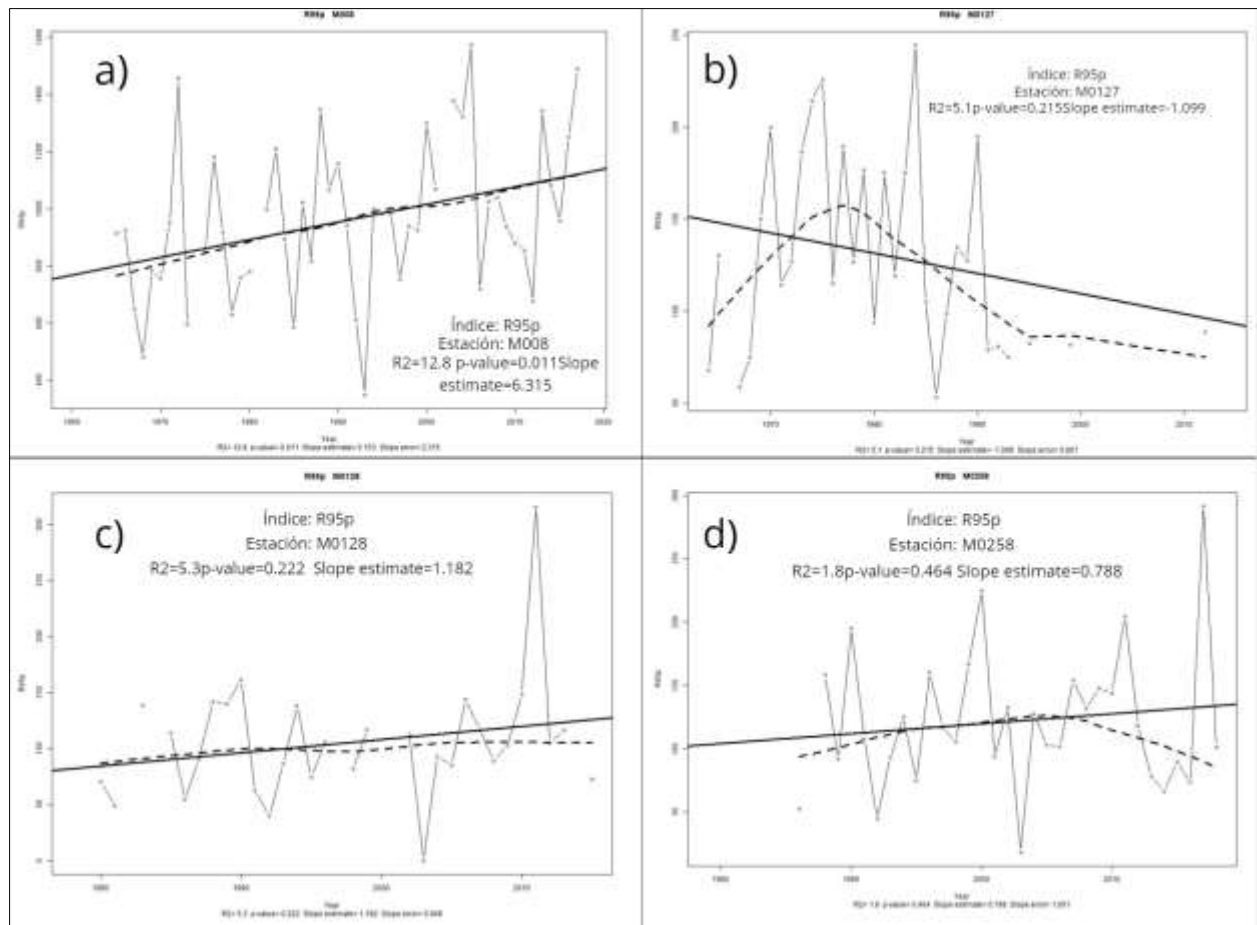
Nota. Días extremadamente lluviosos (precipitación sobre el percentil 99) [mm/año] (R99p)

En la Figura 29 (a, b, c, y d), se aprecia el índice R99p, el cual representa la intensidad de los eventos extremadamente lluviosos diarios. Calcula la cantidad de lluvia acumulada al año de los eventos que superaron el percentil 99. Para la estación M008 se aprecia un incremento sostenido, que indica la agresividad que los eventos extremos pueden tener, sobretodo en este último año en donde se cuadruplicó su intensidad, significancia estadística alta ($p=0.013$). La estación M0127 presenta una tendencia negativa y no mostró significancia estadística. (p -value de

0.579). La estación M0128 presenta una tendencia positiva y es estadísticamente significativa, p-value de 0.225. Finalmente, la estación M0258 presenta un decremento en la cantidad de precipitación, es estadísticamente significativa p-value de 0.26.

Figura 30.

Resultado del índice R95p de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Días muy lluviosos (precipitación sobre el percentil 95) [mm/Día/año] (R95p)

En la Figura 30 (a, b, c, y d), el índice R95 representa el número de días con precipitaciones por encima del percentil 95. La estación M008 presenta una tendencia positiva estadísticamente

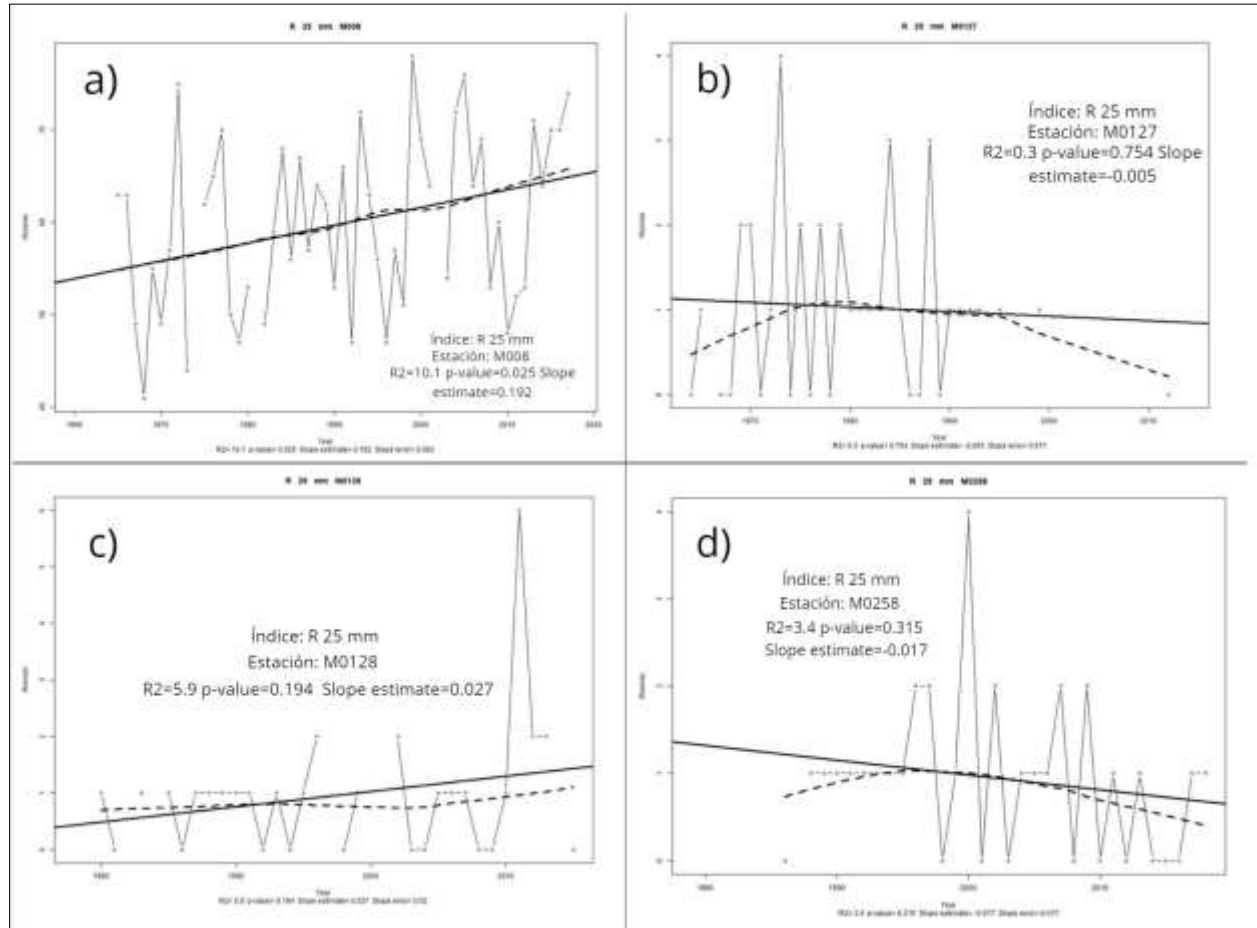
significativa con un p-value de 0.001, es un indicador mucho más robusto, pendiente de 6.153mm/evento muy lluvioso. La estación M0127 presenta una tendencia negativa y no mostró significancia estadística. (p-value de 0.215). La estación M0128 presenta una tendencia positiva y es estadísticamente significativa, p-value de 0.222. Finalmente, la estación M0258 presenta un decremento en la cantidad de precipitación, es estadísticamente significativa p-value de 0.464

Según Bascopé (2013), al presentar la zona sierra este índice, existe la posibilidad de generar efectos negativos como la limitada acción de infiltración, lo que quiere decir que el agua no se logra acumular en el subsuelo, por lo que degrada los suelos, y posiblemente genere desastres naturales, alterando los ecosistemas de la zona.

En la Figura 31 (a, b, c, y d), el R25mm es un indicador que cuenta el número de días al año en los que la precipitación supera los 25mm, que se considera bastante fuerte. Es un indicador de incremento de la frecuencia de los eventos extremos. Para la estación M008 el incremento es bastante significativo, tanto estadísticamente $p=0.025$, como en pendiente 0.192 días de lluvia extrema/año. La estación M0127 presenta una tendencia negativa y mostró significancia estadística. (p-value de 0.754). La estación M0128 presenta una tendencia positiva de 0.027 días de lluvia extrema al año, y es estadísticamente significativa, p-value de 0.194. Finalmente, la estación M0258 presenta un decremento en la cantidad de precipitación de -0.017, es estadísticamente significativa p-value de 0.315.

Figura 31.

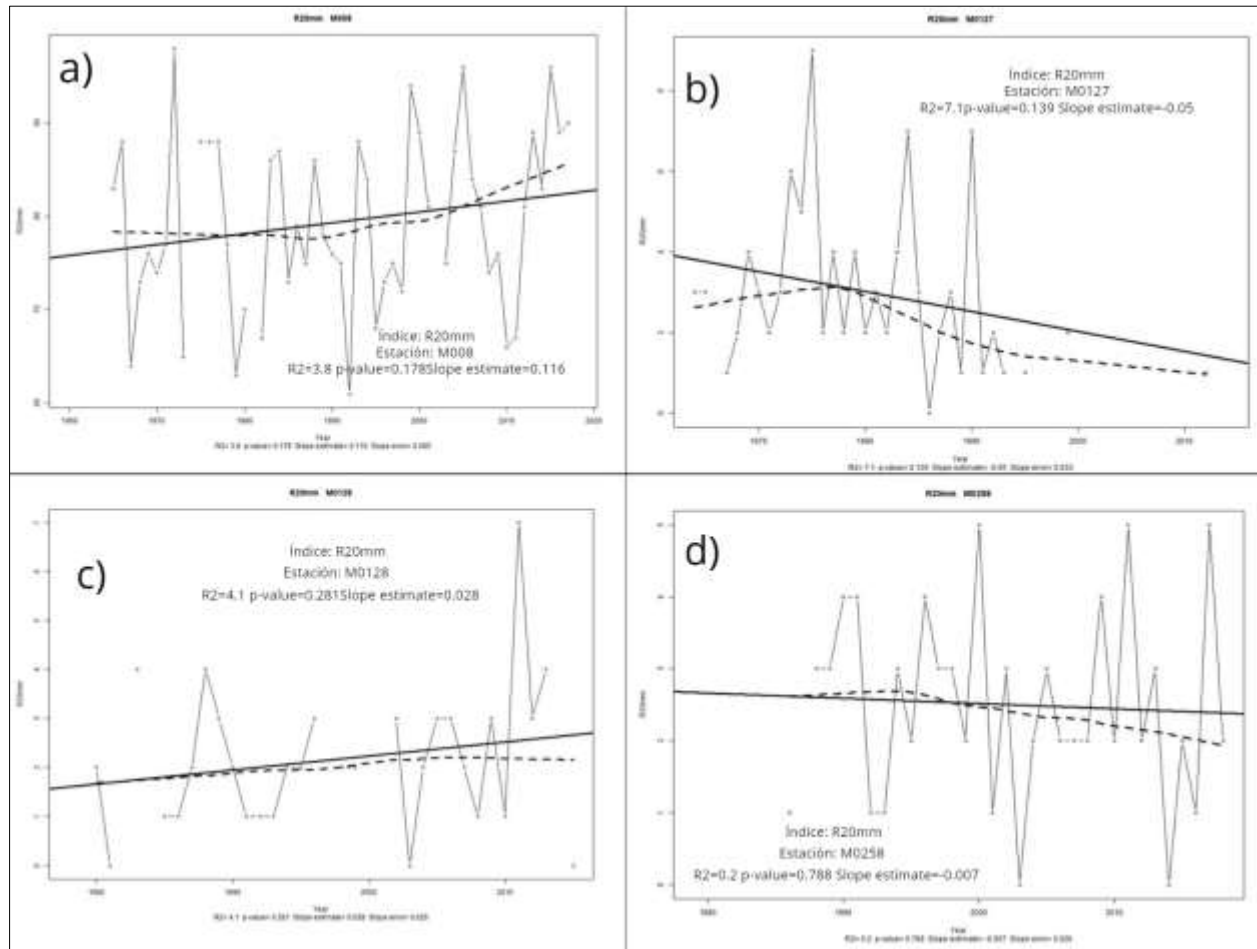
Resultado del índice R25mm de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Días al año en los que la precipitación supera los 25mm [días/año] (R25mm)

Figura 32.

Resultado del índice R20mm de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



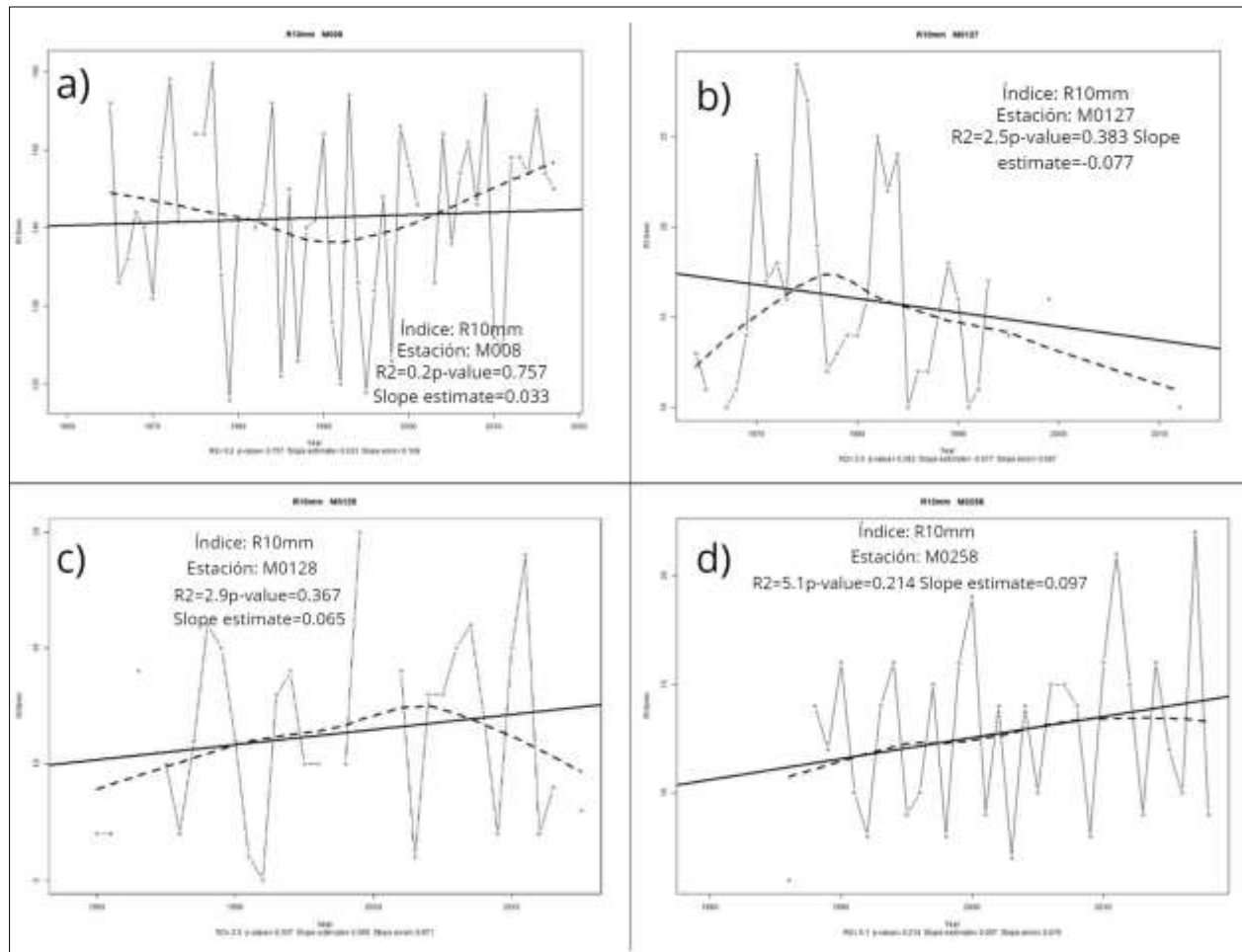
Nota. Días al año con precipitación muy intensa (mayor a 20mm/día) (R20mm) [días/año]

En la Figura 32 (a, b, c, y d), el índice representa cuantos días año existió una precipitación mayor a 20mm. La estación M008 presenta una tendencia positiva de 0.116 mm al día/año y estadísticamente significativa con un p-value de 0.178. La estación M0127 presenta una tendencia negativa y mostró significancia estadística. (p-value de 0.139). La estación M0128 presenta una tendencia positiva, sin embargo, presenta datos incompletos de manera que nos dificulta poder

hacer predicciones. Finalmente, la estación M0258 presenta un decremento en la cantidad de precipitación de -0.007, es estadísticamente significativa con un p-value de 0.26.

Figura 33.

Resultado del índice R10mm de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



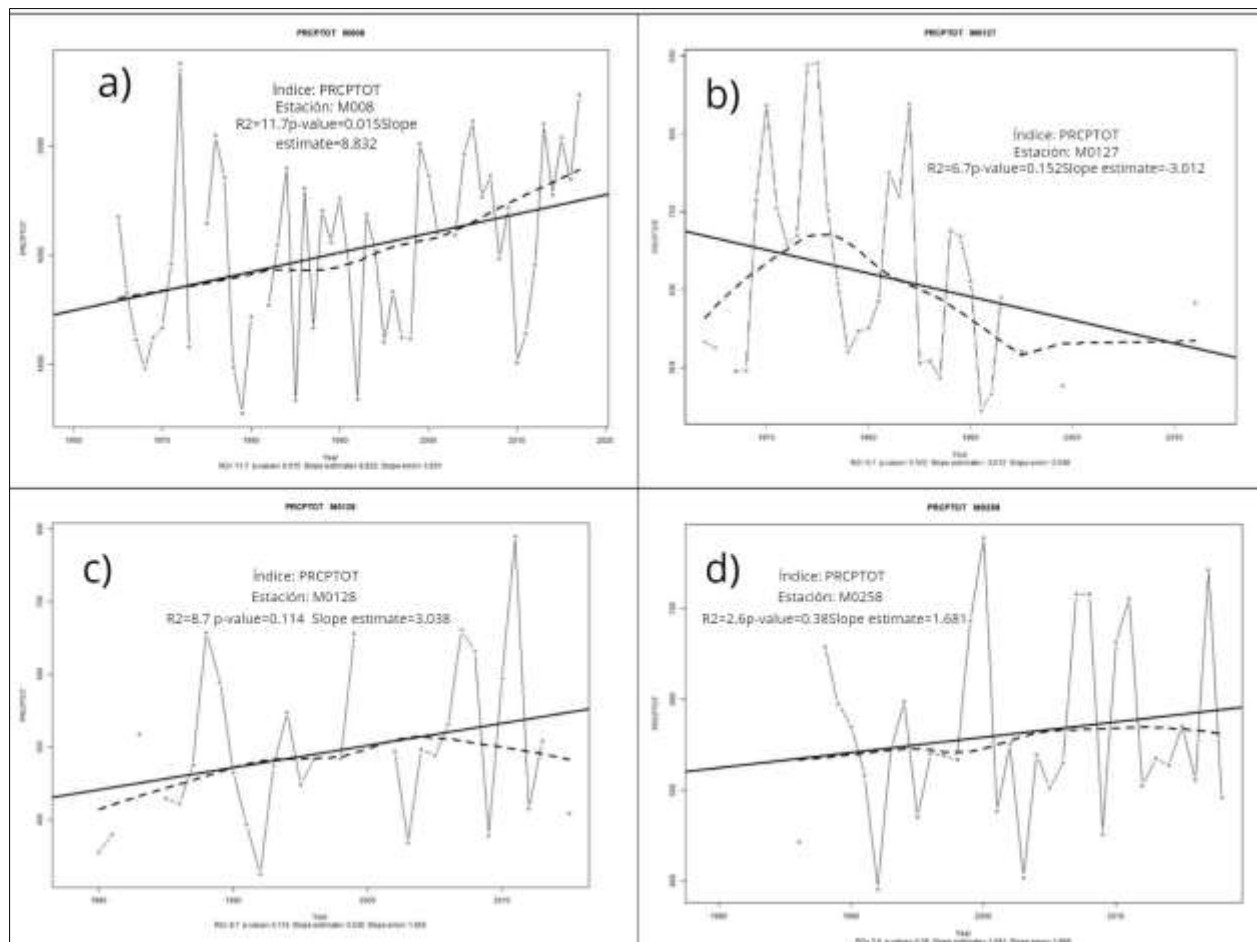
Nota. Días al año con precipitación intensa (mayor a 10mm/día) [días/año] (R10mm)

El índice de la Figura 33 (a, b, c, y d), representa los días al año que sobrepasaron 10mm de precipitación. La estación M008 presenta una tendencia positiva muy pequeña de 0.033 mm/año, no estadísticamente significativa con un p-value de 0.033. Para la estación M0127 se aprecia un

decrecimiento de -0.077mm/año con un p-value de 0.383. y finalmente para las dos estaciones restantes se aprecia un leve crecimiento de precipitaciones de 0.065 y 0.097 mm/año respectivamente.

Figura 34.

Resultado del índice PRCPTOT de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Precipitación total anual en los días húmedos [mm/año] (PRCPTOT) (Frecuencia)

En la Figura 34 (a, b, c, y d), el índice PRCPTOT determina el monto de lluvia anual, tanto de eventos pequeños como grandes. En la estación M008, se aprecia un incremento sostenido, con

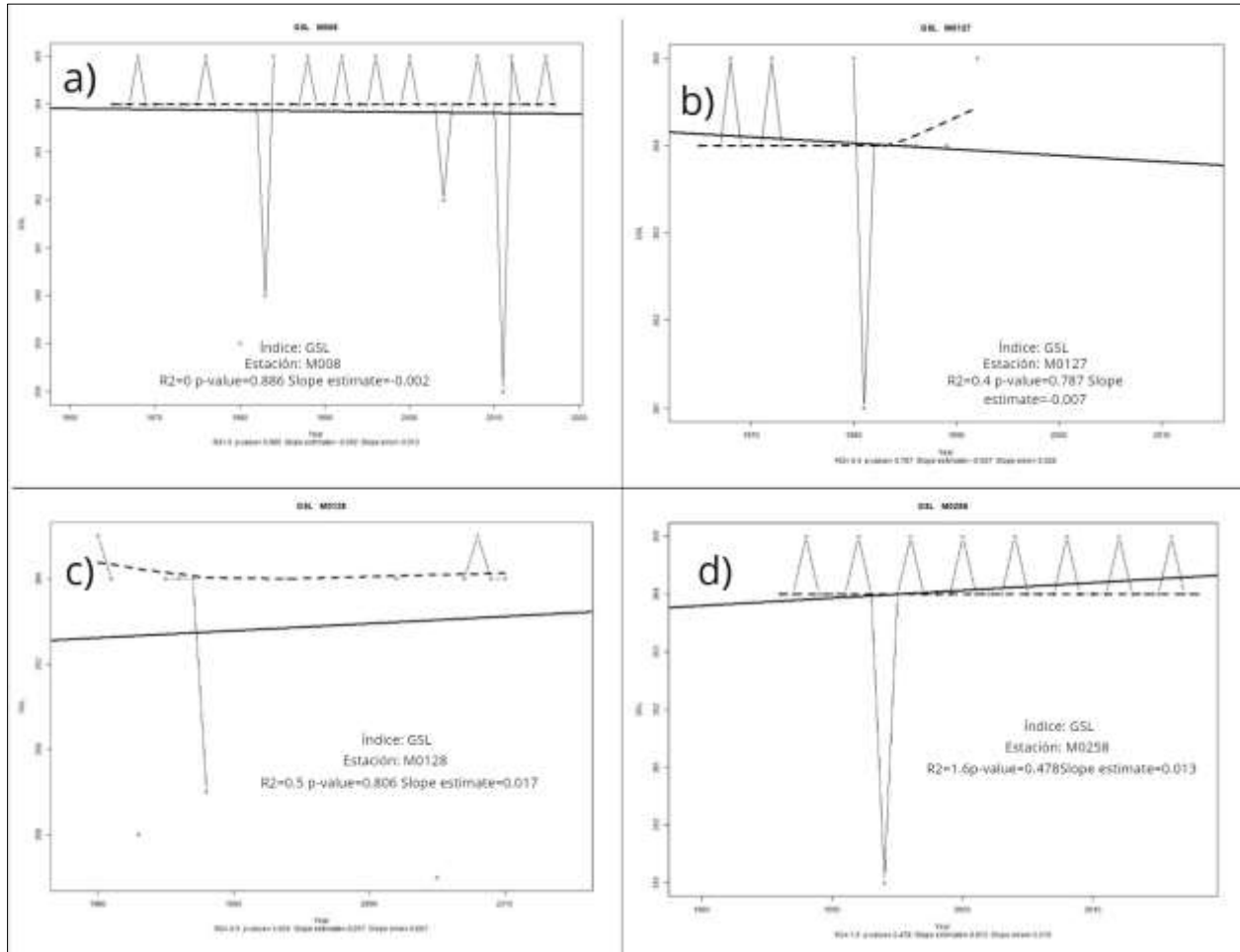
tendencia de 8,832 mm/año, es bastante significativa $p=0.015$. La estación M0127 presenta una tendencia negativa de -3.012 y mostró significancia estadística. (p-value de 0.152). Para las siguientes estaciones M0128 y M0258 se aprecia un incremento de 3.038 y 1.681 mm/al año respectivamente.

En la Figura 35 (a, b, c, y d) el índice representa la duración de la estación de cultivos, el mismo que no proporciona información muy relevante para Ecuador, ya que es un país tropical y se aprecia que la estación de cultivo comprende prácticamente los 365 días del año para las cuatro estaciones estudiadas, sin embargo, podemos decir que existe una ligera pendiente positiva, además que no son estadísticamente significativas.

En la Figura 36 (a, b, c, y d), el índice representa el número de días en un año cuando la temperatura mínima es menor a 0°C . La estación M008 muestra que nunca se ha llegado a estas temperaturas, mientras que la 3 estación restante se aprecia que un decremento en su pendiente de -0.031, -0.005 y -0.029 respectivamente, con un máximo de 2 días al año para la estación b) y 1 día para la estación c) y 6 días para la estación d).

Figura 35.

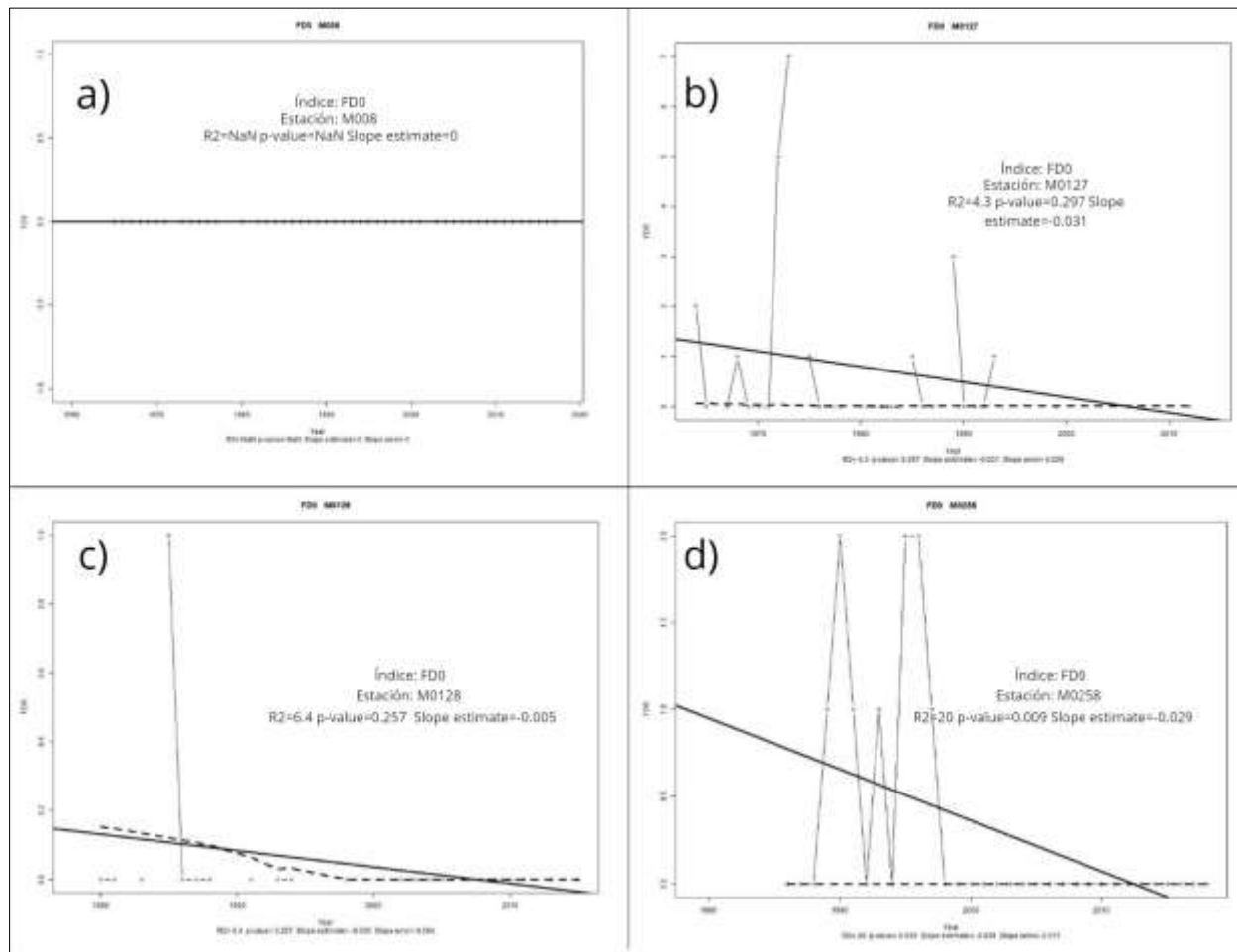
Resultado del índice GLS de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Duración de la estación de cultivo [día/año] (GLS)

Figura 36.

Resultado del índice FDO de las 4 estaciones (a, b, c, y d)



Nota. Días de heladas [día/año] (FD0)

Tabla 12.

Índices de cambio climáticos recomendados por la ETCCI basados en la precipitación para las 4 estaciones.

Índice	M008 (Puyo)	M0127 (Pillaro)	M0128 (Pedro Fermin)	M0258 (Querochaca)
Índice de intensidad diaria [mm/día/año] (SDII)	0.049**	-0.006	0.013*	0.008
p- value	0	0.504	0.175	0.35
**Cantidad Máxima de precipitación en 5 días consecutivos [mm/año] (RX5D)	0.659	-0.033	0.063	-0.213
p- value (Intensidad)	0.13	0.868	0.762	0.341
Cantidad Máxima de precipitación en un día [mm/Día] (RX1D)	0.467*	-0.176*	-0.02	-0.173*
p- value (Intensidad)	0.021	0.215	0.857	0.114
Días extremadamente lluviosos (precipitación sobre el percentil 99) [mm/año] (R99p)	4.11*	-0.317	0.783*	-0.613
p- value	0.013	0.579	0.225	0.26
Días muy lluviosos (precipitación sobre el percentil 95) [mm/Día/año] (R95p)	6.153*	-1.099*	1.182*	0.788
p- value	0.011	0.215	0.222	0.464
Días al año en los que la precipitación supera los 25mm [días/año] (R25mm)	0.192*	-0.005	0.027	-0.017
p- value	0.025	0.754	0.194	0.315
Días al año con precipitación muy intensa (mayor a 20mm/día) (R20mm) [días/año]	0.116*	-0.05	0.028	-0.007
p- value	0.178	0.139	0.281	0.788
Días al año con precipitación intensa (mayor a 10mm/día) [días/año] (R10mm)	0.033	-0.077	0.065	0.097
p- value	0.757	0.383	0.367	0.214
Precipitación total anual en los días húmedos [mm/año] (PRCPTOT)	0.032*	-3.012	3.038*	1.681
p- value (Frecuencia)	0.015	0.152	0.114	0.38
Duración de la estación de cultivo [día/año] (GLS)	-0.002	-0.007	0.017	0.013
p- value	0.886	0.787	0.806	0.478
Días de heladas [día/año] (FD0)	0	-0.031	-0.005	-0.029**
p- value	NaN	0.297	0.257	0.009

Nota. N/A: datos insuficientes para calcular dichos índices. Elaborado por: Jessica Guamán, agosto 2020

Los resultados de Zhindon-Pacheco (2017) muestran que los volúmenes de producción y precipitaciones varían entre -0.31 (Frejol) hasta -0.60 (Maíz), de manera que se observa una relación negativa entre precipitación y rendimiento de cultivos.

De acuerdo a Basantes (2015) el exceso de precipitaciones puede afectar al crecimiento de la planta y favorece a la presencia de enfermedades. El mismo autor explica que de las especies mencionadas en el marco teórico, el maíz será la especie más vulnerable ante los efectos de cambio climático por ubicarse en la Región Andina.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Según los resultados obtenidos en el presente estudio sobre las temperaturas máximas podemos concluir que se registra un incremento sostenido en la zona de estudio (Cantón Ambato y sus alrededores), tal como lo muestran las tendencias positivas de las cuatro estaciones (M0127, M0128, M0258 y M008), este incremento es más notorio en las estaciones (M008), también es importante mencionar que en la estación (M0258) se visualiza una ligera inflexión cerca del año 2000, que puede indicar un enfriamiento de las temperaturas diurnas en la zona. Sin embargo, las tendencias generales son al incremento, lo que nos demuestra que los cultivos están sometidos a mayores temperaturas en el día, según la bibliografía este cambio modifica la fisiología y morfología de los cultivos (maíz, frejol, y haba), esperando que su tamaño aumente.

En lo que se refiere a las temperaturas mínimas, que a pesar de que ocurren en las primeras horas de la mañana, son un reflejo de las temperaturas en la noche, también se aprecia un incremento sostenido en las cuatro estaciones. Es decir, que en las cuatro estaciones (M0127, M0128, M0258 y M008), la tendencia general muestra un incremento constante de las temperaturas mínimas. El hecho de que éstas temperaturas aumenten puede ser beneficioso según la bibliografía, ya que existe menos riesgo a heladas, favoreciendo el desarrollo vegetativo de las especies (maíz, frejol y haba), sin embargo, para los cultivos que están adaptados a las noches frías, pueden sufrir estrés térmico, afectando su fenología, fisiología, metabolismo lo que implica variaciones en su rendimiento.

Estos resultados obtenidos son congruentes con el efecto de cambio climático, considerando que las 4 estaciones se encuentran en zonas urbanas, estas zonas experimentan efectos como islas de calor urbana, lo que quiere decir que en el calor es captado en la mañana y se libera en la noche.

Respecto a la precipitación también se concluye que de manera general se está incrementando, conjuntamente con la presencia de eventos extremos para la estación del Puyo (M008). Este comportamiento se muestra también –pero en mucho menor medida- en la estación Pedro Fermín (M0128), en la que los valores de lluvia torrenciales y destructivas están empezando a presentarse, según la bibliografía existe alta probabilidad de que los cultivos expuestos (maíz, frejol y haba) a estas condiciones disminuyan su rendimiento ya sea por ataque de enfermedades y/o pudrición.

Afortunadamente en las estaciones de Píllaro (M0127) y Querochaca (M0258), se ve una disminución en los eventos de lluvia extrema, y un incremento en los eventos de lluvias más ligeras, según la bibliografía estas son benignas para el óptimo desarrollo vegetativo (maíz, frejol y haba) ya que tendrán riego suficiente.

Finalmente, en cuanto a sequías se concluye que no se ha incrementado de manera significativa en ninguna de las cuatro estaciones estudiadas.

6.2 Recomendaciones

Esta investigación se realizó con la finalidad de que los tomadores de decisiones puedan utilizar estos resultados y crear estrategias de adaptación y mitigación, políticas, y acciones enfocadas en crear oportunidades principalmente para los pequeños campesinos de la zona que se verán afectados por el cambio climático en la provincia de Tungurahua y Ecuador.

Conocer las eventualidades climáticas, nos permitirá tener un panorama más claro sobre los futuros retos que como sociedad vamos a enfrentar, por ejemplo, si hablamos del aumento de temperatura, podemos decir que el efecto será el derretimiento de los glaciares, en consecuencia, pueden generar reducciones de la disponibilidad del agua para el sector agrícola.

Finalmente, el cambio climático es un efecto de los patrones de consumo insostenibles instigados por las grandes empresas, de manera que es importante tomar conciencia de lo que consumimos día a día para poder aminorar los efectos que pueden llegar a ser negativos principalmente para la agricultura.

7. BIBLIOGRAFÍA

Abril, E., (2016). Caracterización Agro socioeconómica del canal de riego Mocha Quero Ladrillos.

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DIRECCIÓN DE POSGRADO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. Recuperado en: <https://bit.ly/3bnXwWD>

Alexander, L., Donat, M., Takayama, Y., & Yang, H. (2011). The CLIMDEX project: creation of long-term global gridded products for the analysis of temperature and precipitation extremes. In WCRP Open Science conference-Denver.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2010). Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista de Economía Crítica*, 10(2), 62-74.

Altieri, M. A. (2009). Agroecology, small farms, and food sovereignty. *Monthly review*, 61(3), 102-113.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2009). Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. *Leisa revista de agroecología*, 5-8. <https://doi.org/10.2499/0896295370>

Arellano, J., & De Las Rivas, J. (2006, marzo). Plantas y cambio climático (N.º 1). *Investigación y Ciencia*. <https://digital.csic.es/handle/10261/3635>

Argente Martínez, L., Garatuza Payán, J., Armendáriz Ontiveros, M. M., Yépez González, E. A., Arredondo Moreno, J. T., & González Aguilera, J. (2017). Estrés térmico en cultivo del trigo. Implicaciones fisiológicas, bioquímicas y agronómicas. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 57-67.

- Basantes, E., (2015). Manejo de cultivos Andinos del Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. PP 8. <https://bit.ly/2EUhf4v>
- Bascope, A., (2013). Cambio Climático impacto en la agricultura, Heladas y sequías. Ministerio de Agricultura. Santiago de Chile.
- Blasón, A. D., Fernández, N. R., Barrios, M. B., Makar, D., Molla Kralj, A., & Rodríguez, R. O. (2014). Gradientes térmicos del suelo superficial cultivado con maíz en labranza convencional y en siembra directa. Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, 9, 29-46.
- Climdex. (Julio de 2020). What is Climdex? . Obtenido de <https://www.climdex.org/learn/>
- CMNUCC. 1987. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, protocolo de montreal. Comunicación Nacional República del Ecuador. (2001). Convención Marco de las Naciones Unidas, Cambio Climático. Comité Nacional sobre el Clima. Ministerio del Ambiente. Cornell University. 2009a. Microclimates.
- Cordero, R., Feron, S., Damiani, A., Llanillo, P., Carrasco, J., & Jorquera, J. (2019). Cambio Climático Respuestas a las Preguntas Claves (Dirección Meteorológica de Chile ed., Vol. 1). Instituto Antártico Chileno. América Latina. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile. <https://bit.ly/3i0N3CS>
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. Ciencia y Sociedad, 37(2), 227-240. <https://doi.org/10.22206/cys.2012.v37i2.pp227-240>
- ECCC-CDAS. (2020). RclimDex. <https://github.com/ECCC-CDAS/RclimDex>

- Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., & Hospido, A. (2015). CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD DEL BANANO EN EL ECUADOR: Evaluación de impacto y directrices de política. FAO 2015.
- Estrada, M. (2001). Cambio climático global: Causas y consecuencias [Global climate change: causes and consequences]. Accessed on June 6, 2017.
- FAO. (2001d. C.). El estado Mundial de la Agricultura y la a alimentación. Dirección de Información de la FAO. <http://www.fao.org/3/a-x9800s.pdf>
- Fernández, M. (2013). EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE CULTIVOS POR SECTORES. IDEAM. <https://bit.ly/2ZdTw5Z>
- Formato CSV. (2020). Ryte Wiki. https://es.ryte.com/wiki/Formato_CSV
- Galindo, L., Samaniego, J., Alatorre, J., & Carbonell, J. (2014). Reflexiones metodológicas del análisis del cambio climático Una visión desde
- Gavilanes, E., y Iza, K., (2012). “Diagnostico participativo socioeconómico y biofísico de la parroquia rural de pasa – cantón Ambato”. Facultad de ciencias escuela de ciencias químicas carrera modalidad semi – presencial licenciatura en educación ambiental sede Ambato; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://bit.ly/31XzNJu>
- Hernandez, F. (2005). Análisis de la variabilidad climática de la costa ecuatoriana. Acta Oceanogr. Pac, 2006, 13.
- IPCC. (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge Universiyt Press, pág. 572. Recuperado en: <https://bit.ly/2F9IDuJ>

IPCC. (2007). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.

IPCC. (2007). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Geneva, Switzerland, pág. 104.

IPCC. (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

López Feldman, A. J., & Hernández Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. El trimestre económico, 83(332), 459-496.

Ludena, C., Wilk, D., & Deeb, A. (2012). Ecuador: Mitigación y adaptación al cambio climático. Marco de la Preparación de la Estrategia, 2017.

Mall, R. K., Gupta, A., & Sonkar, G. (2017). Effect of Climate Change on Agricultural Crops. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 23-46. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63661-4.00002-5>

Moreno, J. (2005). Principales Conclusiones de la Evaluación en España pro efecto del Cambio Climático. (N.º 1). Oficina Española de Cambio Climático. <https://www.oei.es>

- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., & Palazzo, A. (2009). Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación, 2-3. <https://doi.org/10.2499/0896295370>
- Nicholls Estrada, C. I., Ríos Osorio, L. A., & Altieri, M. A. (2013). Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático (No. 630.277 A281agr). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Madrid (España) Red Iberoamericana de Agroecología para el Desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático (REDAGRES), Medellín (Colombia).
- Noboa y sus col., (2012), Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador. Fundación Carolina – CTT/USFQ, Serie Avances de Investigación nº 66, Madrid. Disponible en: <https://bit.ly/2DwoJKe>
- Ocampo, Olga. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. Revista de Ingeniería, (33), 115-123. Retrieved September 05, 2020, from <https://bit.ly/3h4RP0Z>
- OMM. (2011). Guía de Prácticas Climatológicas. Guía de Prácticas Climatológicas, No. 100.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., & Dasgupta, P. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC.
- PNUD, S., & SNGR, S. (2012). Propuesta Metodológica: Análisis de Vulnerabilidad a Nivel Municipal. Quito. Ecuador.
- Python. (2020). Python. <https://www.python.org/>

- Sánchez, E., & Jinde, K. (2012). “DIAGNOSTICO PARTICIPATIVO SOCIOECONOMICO Y BIOFISICO DE LA PARROQUIA RURAL DE PASA – CANTÓN AMBATO”.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2023/1/26T00007.pdf>
- Serrano, S., D. Zuleta, V. Moscoso, P. Jácome, E. Palacios y M. Villacís. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja. Vol. 16(2): 23-47. ISSN: 1390-3799.
- Solomon, S. (2007). IPCC (2007): Climate change the physical science basis. AGUFGM, 2007, U43D-01.
- Villavicencio, N., López, C., Basurto, M., & Pérez, R. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. Tecnociencia Chihuahua, 5(3), 156-161
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). RClimDex (1.0) user manualv. Climate Research Branch Environment Canada, 22.
- Zhang, X., G. Hegerl, F.W. Zwiers, y Kenyon, J. (2004). Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. J. Climate, submitted.
- Zhinda-Pacheco D. y sus col., (2017). Relación del cambio climático con la producción agrícola en la Provincia del Azuay. INNOVA Research Journal, ISSN 2477-9024. Vol. 2, No.9.1 pp. 55-64. Disponible en: <https://bit.ly/3jCMjnY>

8. ANEXOS

Anexos 1. Definición de los Índices

A continuación, se incluyen definiciones para los índices calculados, tomados del Manual de Usuario de ClimDex.

1. FD0

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j . Cuente el número de días cuando:

$$Tn_{ij} < 0^{\circ}C$$

2. SU25

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i periodo j . Cuente el número de días cuando:

$$Tx_{ij} > 25^{\circ}C$$

3. ID0

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j . Cuente el número de días cuando:

$$Tx_{ij} < 0^{\circ}C$$

4. TR20

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j . Cuente el número de días cuando:

$$Tn_{ij} > 20^{\circ}C$$

5. GSL

Sea T_{ij} la temperatura media en el día i en el periodo j . Cuente el número de días entre la primera ocurrencia de por lo menos 6 días consecutivos con:

$$T_{ij} > 5^{\circ}C$$

Y la primera ocurrencia después de 1st Julio (1st Enero en HS) de por lo menos 6 días consecutivos con:

$$T_{ij} < 5^{\circ}C$$

6. TXx

Sea T_{xkj} la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces: -

$$TX_{kj} = \max(T_{xkj})$$

7. TNx

Sea T_{nkj} la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces: -

$$TN_{kj} = \max(T_{nkj})$$

8. TXn

Sea T_{xkj} la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La mínima temperatura máxima diaria cada mes es entonces: -

$$TX_{nkj} = \min(T_{xkj})$$

9. TNn

Sea T_{nkj} la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces: -

$$TN_{nkj} = \min(T_{nkj})$$

10. Tn10p

Sea T_{nij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea T_{in10} el día calendario del percentil 10th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$T_{nij} < T_{in10}$$

11. Tx10p

Sea T_{xij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea T_{xin10} el día calendario del percentil 10th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tx_{ij} < Tx_{in10}$$

12. Tn90p

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea Tn_{in90} el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tn_{ij} > Tn_{in90}$$

13. Tx90p

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea Tx_{in90} el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tx_{ij} > Tx_{in90}$$

14. WSDI*

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea Tx_{in90} el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos: -

$$Tx_{ij} > Tx_{in90}$$

15. CSDI*

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea Tn_{in10} el día calendario del percentil 10th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos: -

$$Tn_{ij} < Tn_{in10}$$

16. DTR

Sean Tx_{ij} y Tn_{ij} las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente en el día i en el periodo j . Si I representa el número de días en j , entonces:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$$

17. RX1day

Sea RR_{ij} el total diario de precipitación en el día i en el periodo j . Entonces los valores máximos de 1-día para el periodo j son:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$$

18. Rx5day

Sea RR_{kj} la cantidad de precipitación para el intervalo de cinco días terminando en k , periodo j . Entonces los valores máximos de 5-días para el periodo j son:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$$

19. SDII

Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en días húmedos, $w(RR \geq 1mm)$ en el periodo j . Si W representa el número de días húmedos en j , entonces:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

20. R10

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 10mm$$

21. R20

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

22. Rnn

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Si nn representa cualquier valor razonable de precipitación diaria entonces, cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq nmm$$

23. CDD*

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Cuente el más grande número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} < 1mm$$

24. CWD*

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Cuente el más grande número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1mm$$

25. R95pTOT

Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo $w(RR \geq 1.0mm)$ en el periodo j y sea RR_{wn95} el percentil 95th de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si W representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$$

26. R99p

Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo $w(RR \geq 1.0mm)$ en el periodo j y sea RR_{wn99} el percentil 99th de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si W representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99}$$

27. PRCPTOT

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Si I representa el número de días en j , entonces

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$